

**CADMIUM-GEHALTE IN NIEREN, LEBERN
UND MUSKULATUR VON SCHLACHTSCHWEINEN
IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN
FÜTTERUNGSARTEN**

Jörg Ostertag

1980

Aus dem Institut für Hygiene und Technologie der
Lebensmittel tierischen Ursprungs der
Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Lehrstuhl Prof. Dr. Dr. h.c. L. Kotter

Arbeit angefertigt unter Leitung von Prof. Dr. W. Kreuzer

CADMIUM-GEHALTE IN NIEREN, LEBERN UND MUSKULATUR
VON SCHLACHTSCHWEINEN IN ABHÄNGIGKEIT VON VERSCHIEDENEN
FÜTTERUNGSARTEN



Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

von

Jörg Ostertag

aus

Greifswald

München 1980



Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. J. von Sandersleben

Referent: Prof. Dr. W. Kreuzer

Korreferent: Prof. Dr. K. Tempel

Tag der Promotion: 29. Februar 1980

1.	Einleitung	1
2.	Erklärung	2
3.	Die wichtigsten Erkenntnisse	3
3.1.1	Erklärungstheorien und deren Ergebnisse	3
3.1.2	Erklärungstheorien	4
3.1.3	Erklärungstheorien	4
3.1.4	Erklärungstheorien	4
3.1.5	Erklärungstheorien	4
3.2	Erklärungstheorien	10
3.3.1	Erklärungstheorien	10
3.3.2	Erklärungstheorien	10
3.3.3	Erklärungstheorien	10
3.3.4	Erklärungstheorien	10
3.3.5	Erklärungstheorien	10
3.3.6	Erklärungstheorien	10
3.3.7	Erklärungstheorien	10
3.3.8	Erklärungstheorien	10
3.3.9	Erklärungstheorien	10
3.3.10	Erklärungstheorien	10
3.3.11	Erklärungstheorien	10
3.3.12	Erklärungstheorien	10
3.3.13	Erklärungstheorien	10
3.3.14	Erklärungstheorien	10
3.3.15	Erklärungstheorien	10
3.3.16	Erklärungstheorien	10
3.3.17	Erklärungstheorien	10
3.3.18	Erklärungstheorien	10
3.3.19	Erklärungstheorien	10
3.3.20	Erklärungstheorien	10
3.3.21	Erklärungstheorien	10
3.3.22	Erklärungstheorien	10
3.3.23	Erklärungstheorien	10
3.3.24	Erklärungstheorien	10
3.3.25	Erklärungstheorien	10
3.3.26	Erklärungstheorien	10
3.3.27	Erklärungstheorien	10
3.3.28	Erklärungstheorien	10
3.3.29	Erklärungstheorien	10
3.3.30	Erklärungstheorien	10
3.3.31	Erklärungstheorien	10
3.3.32	Erklärungstheorien	10
3.3.33	Erklärungstheorien	10
3.3.34	Erklärungstheorien	10
3.3.35	Erklärungstheorien	10
3.3.36	Erklärungstheorien	10
3.3.37	Erklärungstheorien	10
3.3.38	Erklärungstheorien	10
3.3.39	Erklärungstheorien	10
3.3.40	Erklärungstheorien	10
3.3.41	Erklärungstheorien	10
3.3.42	Erklärungstheorien	10
3.3.43	Erklärungstheorien	10
3.3.44	Erklärungstheorien	10
3.3.45	Erklärungstheorien	10
3.3.46	Erklärungstheorien	10
3.3.47	Erklärungstheorien	10
3.3.48	Erklärungstheorien	10
3.3.49	Erklärungstheorien	10
3.3.50	Erklärungstheorien	10
3.3.51	Erklärungstheorien	10
3.3.52	Erklärungstheorien	10
3.3.53	Erklärungstheorien	10
3.3.54	Erklärungstheorien	10
3.3.55	Erklärungstheorien	10
3.3.56	Erklärungstheorien	10
3.3.57	Erklärungstheorien	10
3.3.58	Erklärungstheorien	10
3.3.59	Erklärungstheorien	10
3.3.60	Erklärungstheorien	10
3.3.61	Erklärungstheorien	10
3.3.62	Erklärungstheorien	10
3.3.63	Erklärungstheorien	10
3.3.64	Erklärungstheorien	10
3.3.65	Erklärungstheorien	10
3.3.66	Erklärungstheorien	10
3.3.67	Erklärungstheorien	10
3.3.68	Erklärungstheorien	10
3.3.69	Erklärungstheorien	10
3.3.70	Erklärungstheorien	10
3.3.71	Erklärungstheorien	10
3.3.72	Erklärungstheorien	10
3.3.73	Erklärungstheorien	10
3.3.74	Erklärungstheorien	10
3.3.75	Erklärungstheorien	10
3.3.76	Erklärungstheorien	10
3.3.77	Erklärungstheorien	10
3.3.78	Erklärungstheorien	10
3.3.79	Erklärungstheorien	10
3.3.80	Erklärungstheorien	10
3.3.81	Erklärungstheorien	10
3.3.82	Erklärungstheorien	10
3.3.83	Erklärungstheorien	10
3.3.84	Erklärungstheorien	10
3.3.85	Erklärungstheorien	10
3.3.86	Erklärungstheorien	10
3.3.87	Erklärungstheorien	10
3.3.88	Erklärungstheorien	10
3.3.89	Erklärungstheorien	10
3.3.90	Erklärungstheorien	10
3.3.91	Erklärungstheorien	10
3.3.92	Erklärungstheorien	10
3.3.93	Erklärungstheorien	10
3.3.94	Erklärungstheorien	10
3.3.95	Erklärungstheorien	10
3.3.96	Erklärungstheorien	10
3.3.97	Erklärungstheorien	10
3.3.98	Erklärungstheorien	10
3.3.99	Erklärungstheorien	10
3.3.100	Erklärungstheorien	10



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548319_0069

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. LITERATUR	2
2.1 Cd, chemische Eigenschaften	2
2.1.1 Cd-Verbindungen und ihre Verwendung	2
2.2 Cd in der Umwelt	3
2.2.1 Cd in der Luft	3
2.2.2 Cd in Wasser	4
2.2.3 Cd im Boden	7
2.2.4 Cd in der Pflanze	8
2.2.5 Cd im Tier	8
2.3 Cd-Stoffwechsel	14
2.3.1 Cd-Aufnahme	14
2.3.2 Cd-Resorption	15
2.3.2.1 Intestinal	15
2.3.2.2 Inhalativ	16
2.3.2.3 Gesamtresorption beim Menschen	16
2.3.3 Transport, Verteilung und body-burden	17
2.3.4 Cd-Ausscheidung	19
2.4 Toxische Erscheinungen	20
2.4.1 Mensch	20
2.4.2 Tier	21
2.5 Cd-Gehalte in Futtermitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft	22
2.6 Übergang von Cd aus Futtermitteln auf tierische Gewebe	27
2.7 Cd-Höchstmengen in Lebensmitteln	29
2.8 Cd-Untersuchungsmethoden	30
2.8.1 Verschiedene Cd-Bestimmungsmethoden	30
2.8.1.1 Photometrie	30
2.8.1.2 Polarographie	31
2.8.1.3 Emissionsspektralanalyse	31

	Seite
2.8.1.4 Röntgenfluoreszenzanalyse	31
2.8.1.5 Neutronenaktivierungsanalyse	32
2.8.1.6 Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)	32
2.8.1.6.1 AAS mit Flamme	33
2.8.1.6.2 AAS - flammenlos	33
2.8.2 Probenvorbereitung für die AAS	33
2.8.2.1 Trockenveraschung	33
2.8.2.1.1 Hochtemperaturveraschung	33
2.8.2.1.2 Kaltveraschung	34
2.8.2.2 Naßveraschung	34
2.8.2.2.1 Nasse Mineralisation mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ oder HClO_4 im offenen System	34
2.8.2.2.2 Nasse Mineralisation mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ und Fe^{++} -Ionen in der Kjeldahlapparatur	34
2.8.2.2.3 Naßveraschung unter Druck	35
3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN	36
3.1 Untersuchungsmaterial	36
3.2 Eigene Methodik	40
3.2.1 Vorbereitung des Probenmaterials	40
3.2.2 Messung	41
3.2.3 Untere Nachweisgrenze der Methode für Cd	43
3.2.4 Gesamtfehler der Cd-Bestimmung	44
3.3 Ergebnisse	45
3.3.1 Darstellung	45
3.3.1.1 Futtermittel	45
3.3.1.2 Nieren, Lebern und Muskulatur	45
3.4 Besprechung der Ergebnisse	83
3.4.1 Cd-Gehalte des Futters	83
3.4.2 Cd-Gehalte der Nieren, Lebern und Muskulatur	83
3.4.3 Zusammenhänge zwischen den Cd-Gehalten von Futter und den Cd-Gehalten von Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine	86
4. DISKUSSION	90
5. ZUSAMMENFASSUNG	96
6. SUMMARY	98
7. LITERATURVERZEICHNIS	100

1. EINLEITUNG

Cadmium (Cd) gilt gegenwärtig als einer der gesundheitlich bedenklichsten anorganischen Schadstoffe in unserer Umwelt. Seine Akkumulierung bei Tier und Mensch in Niere und Leber verlangt nach Maßnahmen zur Kontrolle dieses hochtoxischen Elementes. Der Mensch nimmt Cd fast ausschließlich mit der Nahrung auf. Dabei spielen Lebensmittel tierischer Herkunft eine nicht unbedeutende Rolle. Der Verzehr von Fleisch und Organen vom Schwein, insbesondere daraus hergestellter Erzeugnisse, liegt in der BRD besonders hoch. Er wurde für 1978 mit 52,5 kg pro Kopf der Bevölkerung ausgewiesen (114). Fragen nach dem Übergang des Cd aus der Umwelt in Fleisch und Organe von Schweinen und daraus hergestellte Produkte beanspruchen deshalb besonderes Interesse.

Die vorliegende Arbeit soll dazu einen Beitrag liefern. In ihr wird untersucht, wie sich die Cd-Belastung im Futter von Schlachtschweinen auf den Cd-Gehalt von Nieren, Lebern und Muskulatur der Tiere auswirkt. Für diesen Zweck wurden entsprechend der Situation in praxi Schweine aus Betrieben mit unterschiedlichen Mastregimen aus verschiedenen stark Cd-belasteten Gebieten der BRD ausgewählt.

2. LITERATUR

2.1 Cd, chemische Eigenschaften

Cd ist ein silberweiß glänzendes, relativ weiches Metall. Es wurde 1817 von dem Göttinger Professor Strohmeyer im Zinkoxid entdeckt und Cadmium (von Cadmeia fornacuum = Ofenbruch) genannt (127).

Es hat die Ordnungszahl 48 und besitzt ein Atomgewicht von 112,40. Seine Dichte beträgt bei 20 °C 8,64 g/cm³. Der Schmelzpunkt liegt bei etwa 312 °C und der Siedepunkt bei 767 °C (51, 107). Im Periodischen System steht das Cd in der zweiten Nebengruppe und zählt damit zu den zweiwertigen Elementen. Es kann jedoch auch eine Reihe von komplizierten Additionsverbindungen bilden.

Cd kommt in der Natur fast immer mit anderen Metallen, insbesondere mit Zink und Blei, vor. Da Zink ein weitverbreitetes Metall darstellt (120, 148), ist wahrscheinlich kein natürlicher Stoff völlig frei von Cd. Es wird auch aus den in Zinkerzen enthaltenen Cadmiumcarbonat (CdCO₃), Cadmiumoxid (CdO) und Cadmiumsulfid (CdS) gewonnen (51).

Die Weltproduktion an Cd betrug 1972 16.524 t. Davon wurden in der BRD 1.964 t verbraucht (155). Die bundesdeutsche Förderung belief sich im gleichen Jahr auf 913 t.

2.1.1 Cd-Verbindungen und ihre Verwendung

Cadmiumstearat $[(C_{17}H_{35}COO)_2Cd]$ dient in der Kunststoffindustrie als Licht- und Thermostabilisator für PVC-Erzeugnisse (Schläuche, Folien) (32).

Cadmiumsulfid wird wegen seiner Lichtechtheit und chemischen Resistenz als Malerfarbe (Cadmiumgelb) und als Pigment zur Färbung von Gebrauchsgegenständen verschiedenster Art, wie Gummi, Glas und Kunststoff verwendet. Entsprechende Anwendung findet auch das rote Cadmiumselenid (CdSe).

Cd wird ferner als Rostschutzüberzug für Eisen und Stahl, als Bestandteil leicht schmelzender Legierungen (z.B. im Wood'schen Metall) und als Neutronenabsorber in Atomreaktoren benützt. In der Elektroindustrie dient Cd u.a. zur Herstellung von Fotowiderständen, Gleichrichtern, Schaltschutzkontakten sowie als Elektrodenmaterial in Nickel-Cadmium- und Silber-Cadmium-Akkumulatoren (155).

Das früher übliche Verkadmieren von Wasser- und Speisebehältern ist seit über 30 Jahren verboten, da sich Cd in Füllgut mit saurem pH-Wert, wie z.B. Fruchtsäuren (in Speiseeis, Marmelade, Säfte etc.) löst und dabei giftige Cd-Salze entstehen können (38).

2.2 Cd in der Umwelt

2.2.1 Cd in der Luft

Die Cd-Belastung der Luft ist gegenwärtig primär industriell bedingt. Cd gelangt vor allem mit den Emissionen von Zink- und Bleihütten oder zink- und bleiverarbeitender Fabriken sowie in den Verbrennungsabgasen flüssiger oder fester fossiler Brennstoffe, vor allem von Erdöl, Kohle und Dieseltreibstoff, in die Umwelt (45, 109, 135, 148).

In Schweden untersuchten FRIBERG et al. (41) in der Nähe einer mit Cd-Kupferlegierungen arbeitenden Fabrik die Luft. Sie ermittelten in einer Entfernung von 500 m $0,3 \mu\text{g Cd/m}^3$ als monatlichen Mittelwert, in 100 m Entfernung $0,6 \mu\text{g Cd/m}^3$. Als höchste Cd-Konzentration während einer 24-Stundenuntersuchung maßen sie $5,4 \mu\text{g/m}^3$.

ESSING et al. (33) berichten in einer verkehrsarmen Wohngegend Erlangens über einen Durchschnittswert von $0,0015 \mu\text{g Cd/m}^3$.

Über die derzeitige Cd-Belastung der Luft verschiedener Gebiete der BRD informieren die folgenden Daten (155):

<u>Gebiete</u>	Jahresmittel ($\mu\text{g Cd/m}^3$)
Rheinluftgebiete	ca. 0,001
ländliche Gebiete	0,002 - 0,003
Ballungszentren ohne spezifische Emittenten	0,005 - 0,015
Ballungszentren mit spezifischen Emittenten	0,015 - 0,025
Gebiete in unmittelbarer Nähe von Emittenten (Umkreis ca. 1 - 2 km)	bis etwa 0,060

Diese Daten lassen erkennen, daß in Gebieten von Cd-Emittenten der Cd-Gehalt der Luft maximal um einige hundertmal größer sein kann, als in nicht oder kaum kontaminierten Gegenden.

Eine weitere Cd-Belastung stellt für den menschlichen Organismus das Rauchen dar. Übereinstimmend kamen verschiedene Untersucher zu dem Ergebnis, daß im Rauch einer Zigarette zwischen 0,1 und 0,2 $\mu\text{g Cd}$ eingeatmet werden (89, 126). SZADKOWSKI et al. (126) ermittelten pro Zigarette eine Cd-Aufnahme von 0,178 μg . Demnach beträgt die täglich inhalede Cd-Menge eines Durchschnittsrauchers bei einem täglichen Konsum von 17 Zigaretten ca. 3 μg täglich. Ein Einwohner Erlangens nimmt dagegen bei einem Cd-Gehalt in der Luft von 0,0015 $\mu\text{g pro m}^3$ und einem Atemvolumen von 20 m^3 Luft täglich etwa nur 1 % der Cd-Menge eines durchschnittlichen Rauchers auf (33).

2.2.2 Cd im Wasser

Zahlreiche Untersuchungen ergaben, daß der Cd-Gehalt in Wasser relativ gering ist. Es wurden zumeist Konzentrationen $\leq 5 \mu\text{g Cd/l}$ gefunden (1, 11, 29, 54, 137, 138).

BOUQUIAUX (11) faßte in Tabelle 1 in verschiedenen Gewässern der Mitgliedsstaaten der Europäischen Gemeinschaft ermittelte Cd-Gehalte zusammen.

Tabelle 1: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/l}$) in verschiedenen Gewässern der Europäischen Gemeinschaft

	n	Mittelwert	Maximalwert
sehr saubere Flüsse	22	0,5	1,2
verschmutzte Flüsse	862	2 - 3	10,0
Maas	9	-	10,4
Bodensee	101	2	3
sauberes Meerwasser	48	0,05	0,6
verschmutztes Meerwasser	201	0,4	1,5

In englischen Flüssen fanden ABDULLAH und ROYLE (1) meist 0,1 - 0,6 $\mu\text{g Cd/l}$ Wasser. Höhere Werte, 1 - 5 $\mu\text{g Cd/l}$, waren stets mit hohen Gehalten an Eisen, Zink und gelegentlich auch Kupfer im Flußwasser verbunden. In Küstengewässern ermittelten sie Cd-Gehalte zwischen 0,2 - 9 $\mu\text{g/l}$. Hohe Gehalte, 2 - 3 $\mu\text{g Cd/l}$ in der Bucht von Liverpool sowie 4 - 9 $\mu\text{g Cd/l}$ im Kanal von Bristol waren durch industrielle Abwässer bedingt.

Untersuchungen österreichischer Oberflächengewässer ergaben Anfang 1972 Cd-Gehalte stets $\leq 5 \mu\text{g/l}$ (29).

Weitere Cd-Gehalte in Gewässern verschiedenster Herkunft sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/l}$) in Gewässern verschiedener Provenienz

Land	Art des Wassers	$\mu\text{g Cd/l}$	Literatur
SF	Meer, sauber	0,1 - 0,2	54
"	Meer, wenig verunreinigt	0,4 - 0,7	54
"	Meer, stark verunreinigt	5 - 10	54
JAP	Fluß, verunreinigt	3 - 9	149
USA	Quelle	0 - 0,06	115
"	Bach	0,03 - 0,37	115
"	künstlicher Weiher	0,45	115
"	Fluß	0,09	115
"	Meer	0	115
"	Leitungswasser	0 - 2,07	115

In der BRD untersuchte WACHS (136, 137, 138) von 1972 bis 1977 aus insgesamt 39 Fließgewässern Bayerns 120 Proben Wasser auf Cd. Mehr als die Hälfte davon wiesen Cd-Gehalte $< 1 \mu\text{g/l}$ auf; nur ein Fünftel etwa enthielt zwischen 1 und $5 \mu\text{g Cd/l}$. Gehalte über $10 \mu\text{g Cd/l}$ waren i.d.R. durch Abläufe von Großkläranlagen und Auswaschungen aus Urgestein (Bayerischer Wald) verursacht. Von 7 untersuchten südbayerischen Seen wies Wasser aus dem Ammersee mit $0,4 \mu\text{g Cd/l}$ den höchsten Gehalt auf.

BANAT, FÖRSTNER und MÜLLER (4) sehen in Flüssen tonige Sedimente als geeignete Gradmesser zur Erkennung einer Belastung mit Schwermetallen an. Die Analyse der Tonfraktion von Sedimenten aus 7 deutschen Flüssen ließ einen mittleren Anreicherungsfaktor für Cd von 100 - 300 erkennen (Tabelle 3).

Der Anreicherungsfaktor gibt an, wie hoch die Anreicherung in der Tonfraktion der Flußsedimente gegenüber dem Durchschnittswert für tonige Sedimentgesteine ist. Zum Vergleich sind in der Tabelle die Cd-Durchschnittsgehalte in tonigen Sedimentgesteinen angegeben.

Tabelle 3: Cd-Gehalte in der Tonfraktion von Sedimenten
7 deutscher Flüsse

Fluß	Cd (in ppm)		
	$x_{\min}$	$\bar{x}$	$x_{\max}$
Rhein	3	9	23
Main	6	12	19
Neckar	5	37	88
Donau	7	14	29
Ems	7	10	17
Weser	6	14	23
Elbe	15	21	25
tonige Sedimentgesteine		0,3	
Anreicherungs- faktor	30	100	300

KROPF et al. (71) ermittelten 1967 im Trinkwasser aus dem mittelfränkischen Ballungsgebiet 6 - 9 $\mu\text{g Cd/l}$.

Der zulässige Cd-Höchstwert beträgt derzeit nach der deutschen Trinkwasserverordnung vom 31. Januar 1975 6 $\mu\text{g/l}$ ($= 0,05 \text{ mmol/m}^3$).

Als mögliche Ursache für Cd-Verunreinigungen im Trinkwasser werden galvanisierte Rohrleitungen vermutet (115).

2.2.3 Cd im Boden

In Erdböden ist Cd nur in geringem Maße vorhanden. Es kommt dort entweder als Cadmiumblende (Greenockit), Cadmiumcarbonat oder Cadmiumoxid fast immer in Begleitung der Zinkblende (0,1 - 0,2 % Cd) und des Galmei (0,5 % Cd) vor (51, 115). Für Böden emissionsferner Standorte wird der Cd-Gehalt mit weniger als 1 ppm angegeben (74, 84, 92, 112, 144).

Wichtige Quellen für die Verunreinigung des Bodens mit Cd sind industrielle Emissionen (siehe 2.2.1, Seite 3 - 4) und auch Kraftfahrzeugabgase. Bodenuntersuchungen in der Nähe von Verkehrswegen zeigten, daß die Cd-Gehalte im Boden mit der Entfernung von der Straße deutlich abnahmen (73).

Phosphathaltige Düngemittel, insbesondere Superphosphat, enthalten zwischen 5 und 100 ppm Cd. Sie können bei wiederholter Ausbringung zu Cd-Anreicherungen in Boden und Pflanzen führen (143). Die oberen Bodenschichten sind besonders gefährdet, da sie bis zu 80 % des Cd festhalten können (10).

Durch Aufbringen von Klärschlamm werden Böden z.T. ebenfalls erhebliche Cd-Mengen zugeführt. Nach amerikanischen Angaben kann Klärschlamm in der Trockensubstanz 1 - 140 ppm Cd enthalten (12). Im Klärschlamm der Stadt München wurden bis zu 180 mg/kg TS ermittelt (26).

DIEZ und ROSOPULO (26) stellten im Raum München bei hohen Klärschlammgaben in Böden und Pflanzen eindeutig ansteigende Cd-Gehalte fest. Aufbringen von 400 bzw. 700 t Klärschlamm-Trockensubstanz/ha erhöhte den Cd-Gehalt in Böden von

weniger als 0,4 mg Cd/kg TS auf 16 bzw. 28 mg Cd/kg TS. Andere Untersucher (46, 98) berichten nach Klärschlammgaben ebenfalls über beachtliche Zunahmen der Cd-Gehalte in Böden und Pflanzen.

2.2.4 Cd in der Pflanze

Cd ist, ähnlich wie Zink, in der Pflanze sehr mobil (44, 63, 64, 74). Es wird sowohl vom Blatt als auch von der Wurzel aus in die gesamte Pflanze transportiert (63). Bezogen auf die Gesamtmenge Cd in der ganzen Pflanze enthalten bei vielen Nutzpflanzen die Wurzeln den überwiegenden Teil (56). Bei Pfefferminze wiesen GORDEE et al. (44) mit Hilfe der Nährlösung zugesetzten radioaktiven ^{115m}Cd autoradiographisch die relativ schnelle Aufnahme und Verteilung des Cd in der Pflanze nach. Es wurde zuerst in den Wurzeln, dann in den Stengeln angereichert, anschließend in die älteren Blätter an der Stengelbasis transportiert und danach in die restlichen Blätter.

LAGERWERFF (74) kultivierte Radieschen in Böden unterschiedlicher Cd-Belastung. Der Cd-Gehalt in Wurzeln und Blättern der Radieschen stieg entsprechend dem Cd-Gehalt des Bodens an.

In den Vegetationsorganen von Pflanzen reichert sich Cd stärker an als in den Früchten (9, 57, 58, 61). Nur bei Reis wurden im Korn höhere Cd-Konzentrationen als im Blatt gefunden (9). Die zentralen Partien von Samen und Früchten weisen stets niedrigere Cd-Gehalte auf als die äußeren, zumeist entfernbaren Teile. Spelzen und Schalen des Getreidekorns enthalten dabei stets höhere Cd-Gehalte als das Korninnere (57, 95).

2.2.5 Cd im Tier

Von den eßbaren Teilen des Tierkörpers enthalten die Nieren, gefolgt von der Leber, die mit Abstand höchsten Cd-Gehalte

(37, 50, 52, 65, 69, 70, 106). Sehr geringe Gehalte wurden dagegen in der Muskulatur gefunden (52, 68, 70).

Die Neigung des Cd, vor allem in den Nieren zu akkumulieren, macht nach Auffassung von HOLM (52) ihren exzessiven Genuß zu einer möglichen Gefahr für die menschliche Gesundheit. Es wurde deshalb schon der generelle gesetzliche Ausschluß der Nieren vom menschlichen Genuß gefordert (52).

KREUZER et al. (70) fanden in umfangreichen Untersuchungen an Schlachtrindern eine deutliche Korrelation zwischen dem Alter der Tiere und den Cd-Gehalten in deren Nieren und Lebern. Daneben konnte beim Einzeltier eine positive Korrelation der Cd-Gehalte von Nieren und Lebern nachgewiesen werden.

HOLM (52) berichtet dagegen bei Untersuchungen an bakteriologisch untersuchten Tieren über zu große Streuungen. Eine signifikante Korrelation war deshalb nicht zu ermitteln.

Nach Untersuchungen an Schweinen besteht vermutlich auch bei ihnen eine Beziehung zwischen dem Alter der Tiere und den Cd-Gehalten in den Geweben. Am geringsten ausgeprägt waren die Unterschiede in der Muskulatur, die ähnlich wie beim Rind offenbar nicht in dem Maße wie Nieren und Lebern die Fähigkeit zur Cd-Speicherung besitzt. Nieren und Lebern von schweren Schlachtkörpern wiesen häufiger höhere Cd-Gehalte auf als die von leichteren Tieren (69).

Tabelle 4 (Seite 10, 11) gibt einen Überblick über bisher in der Literatur für Nieren, Lebern und Muskulatur von Schweinen mitgeteilte Cd-Gehalte.

Zu Vergleichszwecken sind in Tabelle 5 (Seite 12, 13) die Cd-Gehalte in Nieren, Lebern und Muskulatur einiger anderer Tierarten aufgeführt.

Tabelle 4:

Cd-Gehalte (mg/kg Fg) in Muskulatur, Lebern und Nieren von Schweinen

Tierart	Muskulatur	n	Leber	i	Niere	n	Land	Literatur
Schwein	0,001	50	0,18	50	0,92	50	BRD	52
Schwein	0,014				0,15		BRD	7
Schwein	0,018 (+ 0,006)						BRD	34
Schwein	0,032		0,080				JAP	148
Schwein	0,035				1,04		BRD	108
Schwein	0,185	3	0,16	1	0,186	2	BRD	71
Schwein	0,035	10					RUM	106
Schwein	0,03	4	0,05	4	0,24	4	GB	17
Schwein	0,025	80					BRD	47
Schwein	0,0	19	0,0	19	0,0	19	USA	19
Schwein	0,055	149	0,270	148	1,120	136	BRD	154
Schwein	0,024	4			0,44	2	BRD	96
Schwein			0,1	1	0,292 (+ 0,181)	5	USA	115

Fortsetzung von Tabelle 4

Tierart	Muskulatur	n	Leber	n	Niere	n	Land	Literatur
Schwein	0,013	314	0,135	314	0,896	314	BRD	37
Schwein (≥ 1 Jahr)	0,017	96	0,275	95	1,617	95	BRD	37
Schwein	0,007	100	0,059	100	0,272	100	BRD	37
Schwein (≤ 3 Monate)	0,008	20	0,033	20	0,247	20	BRD	37
Schwein	0,04 (+ 0,03)	69	0,24 (+ 0,12)	69	0,90 (+ 0,59)	69	BRD	69
Schwein	0,07 (+ 0,05)	63	0,34 (+ 0,21)	63	1,42 (+ 1,05)	63	BRD	69

Tabelle 5: Cd-Gehalte (mg/kg Fg) in Muskulatur, Lebern und Nieren anderer Tierspezies

Tierart	Muskulatur	n	Leber	n	Niere	n	Land	Literatur
Rind	< 0,005	141	0,006 (+ 0,05)	141	0,3 (+ 0,3)	141	BRD	68
Rind	< 0,005	297	0,050 (+ 0,041)	280	0,230 (+ 0,259)	283	BRD	70
Rind	0,002 (+ 0,003)	50	0,09 (+ 0,073)	50	0,43 (+ 0,418)	50	BRD	52
Rind			0,08	190	0,43	190	AUS	36
Kalb	0,022	148	0,065	148	0,200	148	BRD	37
Kalb	0,001 (+ 0,002)	50	0,02 (+ 0,041)	50	0,07 (+ 0,129)	50	BRD	52
Pferd	0,148 (+ 0,342)	28	11,85 (+ 24,872)	28	52,49 (+ 59,236)	28	BRD	52
Schaf	0,012	25	0,080	25	0,261	25	BRD	65

Fortsetzung von Tabelle 5

Tierart	Muskulatur	n	Leber	n	Niere	n	Land	Literatur
Lamm	0,007	203	0,043	207	0,081	207	BRD	65
Rotwild			0,522 (+ 0,169)	4	4,508 (+ 3,017)	9	USA	115
Wildhasen			0,27 (+ 0,255)	50	2,09 (+ 1,954)	50	BRD	50

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, streuten nach den Angaben in der Literatur die Cd-Gehalte der Nieren zwischen 0,0 und 1,617 mg/kg Fg, in den Lebern zwischen 0,0 und 0,34 mg/kg Fg und in der Muskulatur zwischen 0,0 und 0,07 mg/kg Fg. Mit nur einer Ausnahme (19) wiesen dabei die Nieren die jeweils höchsten Cd-Gehalte auf, gefolgt von den Lebern und der Muskulatur.

Die Cd-Gehalte von Nieren, Lebern und Muskulatur anderer Tierarten sind aus Tabelle 5 ersichtlich.

Die im Schnitt höchsten Cd-Gehalte wurden bei den untersuchten Tierarten in den Nieren von Pferden mit über 50 mg/kg Fg (52) ermittelt. Es folgten die Nieren von Rotwild (115) und Wildhasen (50).

2.3 Cd-Stoffwechsel

2.3.1 Cd-Aufnahme

Cd wird von Mensch und Tier überwiegend mit der Nahrung aufgenommen. Unter normalen Umständen tragen dagegen Atemluft und Trinkwasser nur wenig zur Cd-Belastung bei. Bei einem Cd-Gehalt der Luft von z.B. $0,0015 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33) und einem täglichen Atemvolumen von 20 m^3 beträgt die respiratorische Cd-Aufnahme pro Tag nur $0,0030 \mu\text{g}$. Im Trinkwasser liegt der Cd-Gehalt ebenfalls niedrig. Er überschreitet nur in seltenen Fällen $5 \mu\text{g}/\text{l}$ (138). Bei einer Wasseraufnahme von 1 - 2 l pro Tag nimmt der menschliche Körper täglich nicht mehr als 2 - $10 \mu\text{g}$ Cd auf.

Nur in besonderen Fällen, z.B. bei starken Rauchern oder bei Personen, die in einer Cd-emittierenden Fabrik arbeiten und/oder in dessen Nähe wohnen, kann eventuell die Cd-Belastung über die Atemluft eine beachtliche Rolle spielen (155).

In Tabelle 6 (Seite 15) sind für eine Reihe von Staaten die Schätzungen bzw. Berechnungen der täglichen Cd-Aufnahmen ihrer Bürger über die Nahrung zusammengestellt. Tabelle 6 zufolge liegt die tägliche Cd-Aufnahme mit der Nahrung gegenwärtig im Schnitt bei etwa $50 \mu\text{g}$.

Nach einer WHO/FAO-Empfehlung (150) soll die Cd-Aufnahme mit der Nahrung 400 - $500 \mu\text{g}$ pro Woche bzw. 57 - $71 \mu\text{g}$ pro Tag nicht überschreiten.

Den bisherigen Untersuchungen zufolge wird dieser empfohlene Wert in vielen Ländern beinahe erreicht bzw. schon überschritten. Mit einem weiteren Anstieg in den nächsten Jahren ist zu rechnen.

Tabelle 6: Tägliche Cd-Aufnahme ($\mu\text{g Cd/d}$) von Menschen
verschiedener Länder mit der Nahrung

Land	Cd	Jahr	Literatur
USA	4 - 60	1961	115
"	200 - 400	1967	119
"	26	1967	128
"	38	1968	128
"	50	1969	128
"	17	1979	62
BRD	113 - 331	1968	71
"	48	1969	33
"	25 - 30	1974	96
"	60 - 67	1975	153
ROM	38 - 64	1970	106
CS	60	1970	82
GB	15 - 30	1973	128
S	17	1979	62
CAN	80	1969	128
JAP	59	1970	131
"	60	1970	148
"	35	1979	62
WHO/FAO	50 - 150	1972	85
WHO-Empfehlung	57 - 71	1972	150

2.3.2 Cd-Resorption

2.3.2.1 Intestinal

Die Cd-Resorption im Verdauungstrakt ist relativ gering. Untersuchungen von RAHOLA et al. (105) mit radioaktiv markiertem Cd an 5 freiwilligen Personen ergaben eine durchschnittliche intestinale Cd-Resorptionsrate von ca. 6 %. Sie schwankte individuell zwischen 4,7 und 7,0 %.

Die Resorption oral aufgenommenen Cd wird bei Tieren in Abhängigkeit von der Tierart und der chemischen Bindungsform des Cd sowie der Zusammensetzung der aufgenommenen Nahrung mit 1 - 10 % angegeben (42, 91, 113, 124).

Sie erhöhte sich in Tierexperimenten bei niedrigen Calcium- und Proteingehalten im Futter (124, 149) sowie durch Gaben hoher Dosen Vitamin D (146). Bei Flüssigfütterung, insbesondere Milchfütterung, soll die intestinale Cd-Resorption ebenfalls erhöht sein (13). Außerdem wird sie möglicherweise auch durch das Alter der Tiere beeinflusst. Junge Mäuse resorbierten nach Untersuchungen von NORDBERG et al. (94) intestinal mehr Cd als erwachsene Tiere.

2.3.2.2. Inhalativ

Die inhalative Aufnahme von Cd ist abhängig von dessen Konzentration in der Atemluft und der Größe der Staubpartikel. Die Deposition von Cd in der Lunge verhält sich dabei umgekehrt zur Partikelgröße. Bei einem durchschnittlichen Partikeldurchmesser von 0,1 μ bzw. 2 μ werden 50 % bzw. 20 % im Atemtrakt deponiert (150). Da Cd überwiegend an Staubpartikel von 1 - 2 μ Größe gebunden ist. (27, 79, 80), muß mit einer Cd-Deposition von 20 - 30 % in der Lunge gerechnet werden (151, 155).

Dort abgelagertes Cd wird bei Menschen nach Untersuchungen von LEWIS et al. (83) zu ungefähr 70 % resorbiert; das sind 14 - 21 % der inhalierten Cd-Menge.

BARRET und CARD (5) errechneten bei Ratten für Cd-Dämpfe eine pulmonale Resorption von etwa 11 %.

Nach FRIBERG et al. (42) werden in der Lunge von Hunden 40 % des inhalierten Cd retiniert und davon wieder etwas mehr als 40 % resorbiert.

2.3.2.3 Gesamtresorption beim Menschen

Über die Höhe der Cd-Resorption des Menschen und den Beitrag von Nahrung, Luft und Wasser dazu in unterschiedlich stark Cd-belasteten Gebietstypen gibt Tabelle 7 Auskunft.

Tabelle 7 (155) Cd-Gesamtresorption beim Menschen ($\mu\text{g}/\text{Tag}$)

	ländl. Gebiet	städt. Gebiet	Belastungs- gebiet
Luft ^{x)}	0,007 - 0,011	0,018 - 0,053	0,053 - 0,088 (max. 0,21)
Wasser ^{xx)}	0,14	0,14	0,14
Nahrung ^{xx)}	1,8 - 4,02	1,8 - 4,02	4,02 - 5,04
Rauchen ^{xxx)}	0 bzw. 1,05	0 bzw. 1,05	0 bzw. 1,05
Gesamt	1,947 - 5,221	1,958 - 5,263	4,213 - 6,318 (max. 6,44)

x) Inhalation $20 \text{ m}^3/\text{Tag}$, 25 % Deposition, 70 % Resorption

xx) 6 % Resorption

xxx) 50 % Deposition, 70 % Resorption

2.3.3 Transport, Verteilung und body-burden

Der Cd-Gehalt im Blut des Menschen liegt normalerweise unter $1 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$ (53, 72, 123). Bei beruflich exponierten Arbeitern (76) und starken Rauchern (2, 30) ist der Cd-Gehalt im Blut allerdings i.d.R. höher. Nach NORDBERG et al. (93) befindet sich ein Teil des Blut-Cd in den Erythrozyten an Metallothionein gebunden, einem niedermolekularen, Cd-bindenden Protein mit einem Molekulargewicht von 10000. Dieser Eiweißkörper wurde erstmals von MARGOSHES und VALLEE (87) aus den Nierenrinden von Pferden isoliert. Er enthielt 2,9 % Cd/g TS. Man nimmt an, daß Metallothionein als Trägersubstanz beim Cd-Austausch zwischen verschiedenen Körperregionen fungiert. Es passiert wahrscheinlich infolge seines niedrigen Molekulargewichtes zusammen mit dem Cd leicht die Erythrozyten-Membran, wird dann in die Nieren transportiert und dort in den Tubuli rückresorbiert (41, 41). Möglicherweise enthalten deshalb die Nieren

mit Abstand die höchsten Cd-Gehalte aller Gewebe (35, 82, 115, 120). Neben Cd besitzen auch noch Zn, Cu, Hg, Ag und Sn eine gewisse Affinität zu Metallothionein (110). Die Synthese des Metallothioneins in Leber, Nieren und Intestinaltrakt wird durch Cd induziert (14, 18, 20, 78, 104). Metallothionein scheint bei exzessiver Cd-Belastung eine Art Schutzfunktion für den Organismus zuzukommen (104).

Möglicherweise wird die toxische Wirkung von Cd erst dann manifest, wenn die Metallothionein-Synthese nicht mehr ausreichend schnell abläuft und der Eiweißkörper deshalb nicht in genügender Menge zur Bindung des Cd zur Verfügung steht (42).

Die Organe Neugeborener enthielten nach Untersuchungen von CHAUBE et al. (15) sowie HENKE (48) kaum Cd. Mit zunehmendem Alter war jedoch eine Anreicherung in vielen Organen feststellbar. Erst gegen Ende des Lebens trat eine allmähliche Abnahme ein, in den Nieren nach der fünften Lebensdekade (35, 48).

Der Cd-Gehalt des Durchschnittsamerikaners wird von SCHROEDER et al. (115) auf 30 mg geschätzt. Etwa ein Drittel davon befindet sich in den Nieren. Zusammen mit der Leber und Lunge enthalten sie ca. 50 % des Cd-Gesamtkörpergehaltes (body-burden).

KJELLSTRÖM (62) ermittelte bei 45 Jahre alten Japanern die durchschnittliche Cd-body-burden mit 21 mg, bei US-Amerikanern mit 9 mg und bei schwedischen Staatsbürgern mit 6 mg.

Nach PERRY et al. (101) kommt der geographischen Lage eine große Bedeutung für die Höhe des Cd-Gehaltes in der Niere zu. Die höchsten Cd-Konzentrationen wurden in Nieren von Menschen aus Asien gefunden. Es folgten Europäer, US-Amerikaner und schließlich Afrikaner.

Raucher akkumulieren in Nieren, Leber und Lunge deutlich mehr Cd als Nichtraucher (83).

Die biologische HWZ des Cd im Menschen ist offensichtlich sehr lang. Sie wird bei einer täglichen Cd-Ausscheidung von 0,005 % bzw. 0,01 % der Cd-body-burden auf 33 bzw. 18 Jahre geschätzt (41).

2.3.4 Cd-Ausscheidung

Resorbiertes Cd wird hauptsächlich im Urin ausgeschieden. Bei beruflich nicht belasteten erwachsenen Menschen liegt die Cd-Ausscheidung im Urin gewöhnlich unter 2 µg/l (53, 62, 81, 86).

WATANABE und MURAYAMA (140) untersuchten die Cd-Konzentrationen im Urin von Erwachsenen, die unterschiedlich stark Cd-kontaminierten Reis verzehrten. Sie fanden einen deutlichen Zusammenhang zwischen den Cd-Gehalten im Reis und der Cd-Ausscheidung im Urin. Tabelle 8 informiert darüber.

Tabelle 8 Cd-Gehalte im Reis (mg/kg TS) und im Urin (µg/l) (140)

<u>Cd im Reis (mg/kg Ts)</u>	<u>Cd im Urin (µg/l)</u>
0,33	7,1
0,35	7,7
0,61	11,1
0,88	13,0
1,10	14,2

Ferner konnte auch eine signifikante Beziehung zwischen den Cd-Gehalten in Blut und Urin nachgewiesen werden ($r = 0,41$ bzw. $0,49$).

Die Frage nach der Abhängigkeit der Cd-Ausscheidung im Urin von der aktuellen Exposition oder der Cd-body-burden, ist gegenwärtig noch nicht eindeutig zu beantworten. LAUWEREYS et al. (76) sind der Auffassung, daß, solange Metallothionein in den Nieren als Bindungspartner für Cd in ausreichender Menge zur Verfügung steht, die Cd-Ausscheidung im Urin nicht proportional mit der momentanen Cd-Belastung ansteigt. Wird aber bei beruflich belasteten Menschen das vorhandene Metallothionein aufgebraucht, so steigt die Cd-Ausscheidung im Urin in Abhängigkeit von der Cd-Exposition an.

Die fäkale Ausscheidung resorbierten Cd ist im Vergleich zur Cd-Ausscheidung im Urin weniger bedeutsam. RAHOLA et al. (105)

fanden bei Untersuchungen mit oral verabreichtem radioaktivem Cd nur ca. 0,1 % des resorbierten Cd im Kot. Im Kot ausgeschiedenes Cd stellt zum weitaus größten Teil nicht resorbiertes Nahrungs-Cd dar. Es macht etwa 95 % aus.

ESSING et al. (33) berichten aus Deutschland über einen Cd-Gehalt in Faeces von 31 µg, TSUCHIYA (130) aus Japan von 57 µg.

Bei Ratten wurde das über die Galle ausgeschiedene Cd von ELINDER et al. (31) auf 0,015 % der Cd-body-burden veranschlagt.

2.4 Toxische Erscheinungen

2.4.1 Mensch

Akute Cd-Vergiftungen sind bis jetzt fast nur bei beruflich exponierten Personen bekannt geworden, die Cd in Staub- oder Dampfform inhalativ aufgenommen hatten. Die Krankheitssymptome entsprechen z.T. einer Tracheitis, Bronchitis oder Bronchopneumonie (132). Ein sich anschließendes toxisches Lungenödem führte nicht selten zum Tod (8, 38). Nach FRIBERG et al. (42) ist bei einer Konzentration von 1 mg Cd/m³ Rauch bei 8-stündiger Exposition mit einer akuten Cd-Vergiftung zu rechnen. Die für den Menschen letale Konzentration wird von den gleichen Autoren auf 5 mg Cd/m³ geschätzt.

Auch über außerberufliche akute Vergiftungen wurde gelegentlich berichtet. Sie resultierten aus der Aufnahme mit toxischen Mengen Cd verunreinigter Lebensmittel und/oder Getränke, wenn diese in cadmierten Wasser- oder Speisebehältern aufbewahrt worden waren (16, 21, 42).

Chronische Cd-Intoxikationen nach Langzeitbelastung mit geringen Mengen Cd haben in erster Linie Lunge und Nieren als Zielorgane. Chronische Bronchitiden (59, 60, 75, 77, 122) und Proteinurie (3, 60, 77, 129) stellen dabei die klassischen Krankheitssymptome dar. Cd soll auch die Reaktionsfähigkeit zink- und sulfhydrylhaltiger Fermente beeinträchtigen und zu Störungen im Kohlenhydrat-, Calcium-, Kupfer-, Eisen- und Phosphorstoffwechsel

führen (97, 133). Ferner werden cardiovasculäre Erkrankungen (88, 97, 102, 117) wie Bluthochdruck, aber auch Anämien und Prostatahypertrophie mit der Langzeitaufnahme von Cd in Zusammenhang gebracht.

Ein gänzlich anderes Erscheinungsbild einer chronischen Cd-Vergiftung wird aus Japan berichtet. Sie ist mittlerweile unter dem Namen "Itai-Itai"-Krankheit bekannt geworden (148) und auf das Gebiet des Jintsu-Flusses an der Nordwestküste von Hondo lokalisiert. Kennzeichnend für sie sind durch Entkalkifizierung verursachte Knochendemineralisierungen, Skelettdeformationen und starke Gliederschmerzen. Es erkrankten und starben vor allem Schwangere und Frauen über 40 Jahre nach z.T. mehr als 30-jähriger Aufnahme überhöhter Mengen Cd in Trinkwasser und Nahrung. Der Jintsu-Fluß hatte dort cadmiumhaltige Abraumhalden eines ehemaligen Zinkbergwerkes ausgewaschen. Sein Wasser wurde in den weiter flußabwärts gelegenen Ortschaften zur Bewässerung von Reisfeldern und als Trinkwasser verwendet. Die Cd-Langzeitaufnahme Erwachsener belief sich in diesem Gebiet nach Schätzungen der Behörden auf über 600 µg pro Tag und Person. Sie betrug damit etwas mehr als das 10-fache der sonst in Japan üblichen Cd-Aufnahmen (148).

2.4.2 Tier

Die Verfütterung hoher Dosen Cd an Tiere hatte durchwegs Wachstumsverlangsamung und Gewichtsabnahmen zur Folge (19, 39, 40, 49, 55, 90, 116, 121, 125, 141). In mehreren Fällen konnten außerdem anämische Erscheinungen bzw. Anämien festgestellt werden (19, 28, 39, 40, 55, 90, 116).

COUSINS et al. (19) verglichen die Entwicklung 8 Wochen alter Schweine miteinander, deren Futter 6 Wochen lang entweder 0, 50, 150, 450 bzw. 1350 ppm Cd in Form von Cd-Chlorid zugesetzt worden waren. Die Wachstumsgeschwindigkeit der Tiere verzögerte sich mit zunehmenden Cd-Gehalten im Futter. Der Knochenaschegehalt nahm dabei ab. Der Hämatokritwert war in allen Gruppen erniedrigt.

Kälber, die ebenfalls 8 Wochen lang Futter mit 640 bzw. 2560 ppm Cd als Cd-Chlorid aufgenommen hatten, zeigten neben einem rauen Haarkleid, Wasser- und Haarverlust, Mundverletzungen, eingefallenem Skrotum auch Symptome von Leber- und Nierenschädigungen (103). Bei 2560 ppm Cd im Futter betrug die Mortalität nach 8 Wochen 100 %.

WRIGHT et al. (147) verabreichten an erwachsene Kühe und Schafe mit Cd-Salzen substituiertes Futter. Sein Cd-Gehalt betrug zwischen 50 und 500 ppm. Aborte, Anämien, Totgeburten und lebensschwache Kälber und Lämmer waren zu beobachten.

Bei Ratten konnten SCHROEDER et al. (118) nach mehrmaliger Verabreichung von 5 ppm Cd im Futter vermehrtes Wachstum von Tumoren feststellen.

Injektionen von Cd in Form von Cd-Chlorid verursachten bei Ratten Hodennekrosen (98, 100).

Nach einmaliger intravenöser Injektion von 2 mg CdSO_4 /kg KG an tragende Goldhamsterweibchen wurden bei Embryonen Mißbildungen verschiedener Art festgestellt (34).

2.5 Cd-Gehalte in Futtermitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft

Angaben über Cd-Gehalte in Futtermitteln sind im Schrifttum nicht so häufig zu finden, wie man eigentlich erwarten sollte. Ihnen ist jedoch zu entnehmen, daß Futtermittel pflanzlicher Herkunft im Mittel weit weniger Cd enthalten als solche tierischen Ursprungs (22, 24).

Die Cd-Gehalte pflanzlicher Futtermittel sind in den Tabellen 9 - 11 zusammengestellt, für Getreide und Getreideprodukte in Tabelle 9 (Seite 24), für Wurzeln und Knollen in Tabelle 10 (Seite 25) und für Eiweißfuttermittel pflanzlicher Herkunft in Tabelle 11 (Seite 26).

Getreide und Getreideprodukte weisen größtenteils Cd-Gehalte zwischen 0,02 und 0,2 mg/kg TS auf (Tabelle 9). Etwas höher

liegen mit durchschnittlich 0,03 - 0,3 mg Cd/kg TS die Werte in Eiweißfuttermitteln pflanzlicher Herkunft (Tabelle 11). Wurzeln und Knollen enthalten zumeist Cd-Gehalte kleiner als 0,2 mg/kg, mit Erde verunreinigte z.T. beachtlich mehr. Futterstoffe tierischer Herkunft sind, wie Tabelle 12 (Seite 26) erkennen läßt, im Vergleich zu Futtermitteln pflanzlicher Herkunft stärker Cd-haltig. Sie können bis zu 1 mg/kg TS enthalten.

Umfangreiche Untersuchungen von CRÖSSMANN (23) an Mischfuttermitteln und wirtschaftseigenen Futtermitteln für Mastschweine ergaben durchschnittliche Cd-Gehalte von 0,20 - 0,27 mg/kg TS.

DIEZ und ROSOPULO (26) stellten in Korn und Stroh von Weizen, der auf mit Klärschlamm gedüngten Feldern gewachsen war, der Klärschlamm hatte bis zu 180 mg/kg TS enthalten, stark erhöhte Cd-Gehalte fest. Sie beliefen sich in Weizenkorn auf 1,3 mg/kg TS und im Stroh auf 2,64 mg/kg TS. Weizen unbeschlammter Flächen wies im Korn dagegen mit 0,02 mg Cd/kg TS und im Stroh mit 0,07 mg Cd/kg TS normale Cd-Gehalte auf.

In Tabelle 13 (Seite 27) sind auch die Cd-Gehalte einiger küchenmäßig zubereiteter Nahrungsmittel zusammengestellt. Küchenabfälle aus Großkantinen und aus dem Gaststättengewerbe werden nicht selten zur Mast von Schweinen verwendet. Die Tabelle zeigt, daß sie ähnliche Cd-Gehalte aufweisen, wie die meisten anderen Futtermittel pflanzlicher Herkunft.

Fast alle Futtermittel unterliegen vor ihrer Verfütterung irgendeiner Be- oder Verarbeitung. Die dabei verwendeten Maschinen, wie z.B. Mühlen und Trocknungsanlagen sind möglicherweise Cd-lässig. Auch der Abrieb kann zu einer "Verarbeitungs-kontamination" führen, die umso höher ausfällt, je weicher das Metall und je härter das Mahlgut ist (22).

Tabelle 9: Cd (mg/kg TS) in Getreide und Getreideprodukten

	Cd	Literatur
Gerste		
Körner	0,16	71
Körner	< 0,01 - 0,75	22
Körner	0,01 - 0,12	26
Schrot	0,02	96
Hafer		
Körner	0,14	71
Körner	0,02	96
Körner	< 0,01 - 0,28	22
Körner	0,02 - 0,42	26
Schrot	0,03	96
Kerne	0,02	96
Schälkleie	0,02	96
Spelzen	0,04	96
Mais		
Körner	0,13	71
Körner	< 0,01 - 0,08	22
Körner	0,006 - 0,04	96
Körner	0,02 - 0,2	26
Schrot	0,02	96
Kleberfutter	0,09	96
Kleber	0,06	96
Stärkequellmehl	0,05	96
Milokorn	0,13	96
Reis		
Körner	0,30	71
Stärke	0,01	96
Weizen		
Körner	0,18	71
Körner	< 0,01 - 0,23	22
Körner	0,02 - 1,3	26
Schrot	0,04	96
Nachmehl	0,12	96

Weizen		
Futtermehl	0,12	96
Bollmehl	0,08	96
Kleie	0,09	96
Roggen		
Körner	0,24	71
Körner	0,01	22
Nachmehl	0,03	96
Futtermehl	0,03	96
Kleie	0,04	96

Tabelle 10: Cd (mg/kg TS) in Wurzeln und Knollen

	Cd	Literatur
Kartoffel		
frisch	0,08	106
frisch	0,07	96
frisch	0,18	33
frisch	0,16 - 0,54	26
Stärke	0,21	96
Mohrrübe		
frisch	0,08 - 1,8	71
Futterrübe		
frisch	0,14	96
Zuckerrübe		
frisch	0,11	96

Tabelle 11: Cd (mg/kg TS) in Eiweißfuttermitteln pflanzlicher Herkunft

	Cd	Literatur
Sojaschrot	0,11	96
Sojaschrot	< 0,01 - 0,48	22
Sonnenblumenschrot	0,34	96
Rapsschrot	0,10	96

Tabelle 12: Cd (mg/kg TS) in Futtermitteln tierischer Herkunft

	Cd	Literatur
Tierkörpermehl	0,17	96
Tierkörpermehl	0,75	22
Fischmehl	0,31	22
Fischmehl	1,06	96
Fischmehl	0,15	96
Fleischknochenmehl	0,32	22
Federmehl	0,16	96
Milch	0,07	33
Milch	0,02 - 0,03	115
Milchpulver	0,01	22
Magermilchpulver	0,01	96
Molkenpulver	0,01	22
Sauermolkenpulver	0,01	96
Süßmolkenpulver	< 0,01	96

Tabelle 13: Cd (mg/kg TS) in küchenfertigen Nahrungsmitteln

	Cd	Literatur
Tomaten	< 0,01	96
Blumenkohl	< 0,01	96
Rotkraut	< 0,01	96
Erbsen	0,01	96
Reis	0,06	96
Mischbrot	0,03	96
Leinsamenbrot	0,04	96
Nudeln	0,07	96

2.6 Übergang von Cd aus Futtermitteln auf tierische Gewebe

Untersuchungen zum Übergang von Cd aus dem Futter auf bestimmte Gewebe von Mastschweinen wurden bisher in nennenswertem Umfang kaum durchgeführt.

Lediglich COUSINS et al. (19) verabreichten 6 Wochen lang 8 Wochen alten Schweinen Futter, dem Cd in Form von Cd-Chlorid in Konzentrationen von 50, 150, 450 und 1350 mg Cd/kg TS zugesetzt worden war. Die Tiere wurden anschließend geschlachtet und untersucht. Mit steigender Cd-Zulage im Futter stellten die Autoren eine Erhöhung der Cd-Gehalte in den Organen der Tiere und bei toxischen Dosen auch in der Muskulatur fest. Details sind der Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Cd-Gehalte (mg/kg Fg) in Nieren, Lebern und Muskulatur bei Verabreichung mit unterschiedlichen Mengen Cd substituierten Futters (mg/kg TS) (19)

Cd-Zulage im Futter	Niere	Leber	Muskulatur
mg/kg TS	mg/kg Fg	mg/kg Fg	mg/kg Fg
0	0,0	0,0	0,0
50	41,2	4,9	0,0
150	78,4	8,0	0,0
450	276,0	52,7	0,0
1350	301,0	127,0	14,4

VEMMER und PETERSEN (134) untersuchten 100 männliche, kastrierte Ferkel, die in 20 Gruppen zu je 5 Tieren in Einzelhaltung mit Getreide bis zu einem Lebendgewicht von 100 kg gemästet wurden. Das Futter enthielt unterschiedliche Zusätze an Cd in Form von Cd-Chlorid. Die Cd-Gehalte variierten bei Bezug auf luftgetrocknetes Futter von 0,11 mg Cd/kg (Gruppe 1) bis 123 mg Cd/kg (Gruppe 20). Nach der Schlachtung wurden von den Tieren der Gruppen 1, 4, 7, 10 und 13 Nierenrinde, Leber und Muskulatur einzeln untersucht, bei den übrigen Gruppen für jedes Gewebe nur Gruppenmittelwerte ermittelt. Eine Beziehung zwischen der Cd-Konzentration im Futter und der Nierenrinde bzw. der Leber war bei Cd-Gehalten von 0,11 - 0,28 mg/kg luftgetrockneten Futters nicht erkennbar. Die Cd-Gehalte in der Nierenrinde dieser Tiere lagen zwischen 500 und 1400 µg/kg Fg und in den Lebern zwischen 100 und 200 µg/kg Fg. Ein linearer Anstieg der Cd-Konzentrationen in der Nierenrinde war ab etwa 0,45 mg Cd/kg luftgetrockneten Futters zu beobachten, in den Lebern und der Muskulatur ab etwa 4,5 mg Cd/kg luftgetrockneten Futters. Bei Cd-Gehalten von 0,5 mg/kg luftgetrockneten Futters konnten in den Lebern kaum Cd-Gehalte höher als 0,5 mg Cd/kg Fg gemessen werden. In den Nieren wurde dieser Wert jedoch bei etwa 50 % der untersuchten Schweine überschritten.

CRÜSSMANN (25) untersuchte 8, im Schnitt jeweils 25 Schweine umfassende Gruppen auf ihre Cd-Gehalte in den Nieren. Die Tiere wurden im Unterschied zu den Versuchen von COUSINS et al. (19) sowie VEMMER et al. (134) mit verschiedenen Schweinemastalleinfuttermitteln ernährt, die keine Zusätze an Cd enthielten. Cd lag in ihnen in natürlicher Bindung vor. Die durchschnittlichen Cd-Gehalte betrugen in den verabreichten Futtermitteln zwischen 0,06 und 0,29 mg/kg TS, in den Nieren zwischen 0,15 und 0,26 mg/kg Fg. Die Tiergruppen, welche das Futter mit den geringsten Cd-Gehalten erhalten hatten, wiesen auch in den Nieren mit 0,15 - 0,21 mg Cd/kg Fg die geringsten Cd-Gehalte auf. Die höchsten Cd-Gehalte in den Nieren korrespondierten dagegen nicht immer mit den höchsten Cd-Futterwerten.

Schließlich analysierten noch FORSCHNER und WOLF (37) die Cd-Gehalte in der Muskulatur, den Lebern und den Nieren von 100 Mastschweinen aus einer Mastleistungsprüfungsanstalt. Der durchschnittliche Cd-Gehalt im Futter der Tiere betrug 0,066 mg/kg TS. Trotz genauer Bestimmung der von jedem Schwein verzehrten Futtermenge konnte zwischen der Cd-Aufnahme im Futter und den Cd-Gehalten in den untersuchten Geweben der Tiere kein Zusammenhang festgestellt werden. Muskulatur enthielt im Schnitt 0,007 mg Cd/kg Fg, die Lebern 0,059 mg Cd/kg Fg und die Nieren 0,272 mg Cd/kg Fg.

2.7 Cd-Höchstmengen in Lebensmitteln

Die hohe Toxizität des Cd und seine Neigung zur Akkumulation in lebenswichtigen Organen des Körpers ließen es dem Gesetzgeber angezeigt erscheinen, in Lebensmitteln zulässige Cd-Höchstmengen festzulegen. Dabei müssen die berechtigten Anliegen des Verbrauchers nach gesundheitlich einwandfreien Lebensmitteln absoluten Vorrang haben, andererseits jedoch auch utopische in praxi nicht realisierbare Werte vermieden werden.

In der BRD existieren gegenwärtig auch für Cd nur Richtwertempfehlungen. Sie besitzen "Orientierungsfunktion". Bei einer

Überschreitung sind Verfolgsmaßnahmen einzuleiten. Die Richtwertempfehlungen '79 der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien beim Bundesgesundheitsamt (ZEBS) (154) betragen für Fleisch von Schweinen 0,1 mg Cd/kg Fg und für Lebern 0,8 mg Cd/kg Fg. Eine Richtwertempfehlung für Schweinenieren, für die 1977 noch 2 ppm als Richtwert angegeben worden waren, wurde 1979 nicht mehr ausgesprochen.

Im Rahmen von Vorschlägen des Bundesministeriums für Jugend, Familie und Gesundheit der Bundesrepublik Deutschland (BMfJFuG) (152) vom 29.11.1974 waren für Muskulatur 0,08 mg Cd/kg Fg, für Organe, außer Nieren, 0,5 mg Cd/kg Fg als zulässige Höchstwerte diskutiert worden. Nieren waren ausgeklammert worden. Die diskutierten zulässigen Höchstwerte des BMfJFuG-Vorschlages wie auch die Richtwertempfehlungen '79 der ZEBS basieren auf den Empfehlungen einer WHO/FAO-Expertengruppe (150), der zufolge beim Erwachsenen die maximale Cd-Zufuhr über die Nahrung 400 - 500 µg pro Woche nicht überschreiten soll.

2.8 Cd-Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungsmethoden im Spurenbereich wurden im Laufe der letzten Zeit ständig weiter verbessert. Der Grund für diese Entwicklung liegt u.a. auch in dem Bemühen um immer niedrigere Nachweisgrenzen.

2.8.1 Verschiedene Cd-Bestimmungsmethoden

2.8.1.1 Photometrie

Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Überführung des zu bestimmenden Elementes in einen elementspezifischen Farbkomplex, dessen Intensität sich konzentrationsproportional verhält. Die Messung seiner Absorption bei einer bestimmten Wellenlänge erlaubt deshalb eine quantitative Bestimmung (66).

Der Vorteil dieser Methode liegt in der wenig aufwendigen Messung. Störungen und geringe Empfindlichkeit der Methode wirken sich dagegen nachteilig aus.

2.8.1.2 Polarographie

Ein zum Metall oder zu einer niedrigeren Wertigkeitsstufe reduzierbares Ion wird in der als Elektrolyt dienenden Probelösung nach Anlegen einer ansteigenden Spannung elektrolytisch an einer Hg-Tropfelektrode (Kathode) reduziert. Als Anode dient Hg oder eine Kalomel-Elektrode. Mit dem Erreichen der Zersetzungsspannung tritt ein deutlicher Stromfluß ein, der die Anwesenheit des Stoffes kenntlich macht. Seine quantitative Bestimmung wird durch die Messung der Stromstärke ermöglicht (66).

Der Vorteil dieser Methode besteht in der Möglichkeit, mehrere Elemente nebeneinander in einem Arbeitsgang zu bestimmen. Als nachteilig werden die z.T. zu geringe Nachweisempfindlichkeit und die vielen Störeinflüsse u.a. durch andere Elemente und die Matrix des Untersuchungsmaterials angesehen.

2.8.1.3 Emissionsspektralanalyse

Durch thermische Anregung werden das Probenmaterial verdampft, der Dampf in einen Anregungsraum befördert, dort die Moleküle dissoziiert und die Atome zur Strahlung angeregt. Die Emission der elementspezifischen Spektrallinien mißt man spektrometrisch (155).

Vorteile dieser Methode sind die Bestimmung mehrerer Elemente nebeneinander und geringer Substanz-, Zeit- und Arbeitsaufwand. Von Nachteil ist die z.T. zu geringe Empfindlichkeit.

2.8.1.4 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Probe wird mit Röntgen- oder γ -Strahlen bestrahlt und das zu bestimmende Element zur Emission der charakteristischen Röntgenstrahlung angeregt. Ihre Intensität ist annähernd der Elementmenge proportional (6).

Als Vorteile dieser Methode werden der geringe Aufwand bei der Probenvorbereitung angeführt, außerdem das zerstörungsfreie Arbeiten, das eine Wiederverwendbarkeit von Proben ermöglicht. Als nachteilig beeinträchtigen i.d.R. Matrixeffekte, Impulsstatistik und Zählverluste die Reproduzierbarkeit, Richtigkeit und Bestimmungsgrenze in der Röntgenfluoreszenzanalyse (66).

2.8.1.5 Neutronenaktivierungsanalyse

Die Neutronenaktivierung stellt ein sehr arbeitsintensives aber auch äußerst exaktes Verfahren dar. Hierbei wird die zu untersuchende Probe mit langsamen Neutronen aktiviert und die entstehende γ -Strahlung, bei Cd die des Radioisotops Cd^{115} auf der 0,335 MeV-Linie mit Hilfe eines γ -Scintillationszählers gemessen. Die HWZ des Cd^{115} von 53 Stunden reicht bei einer Aktivierungsdauer von 2 - 3 Tagen für die Cd-Bestimmung im allgemeinen aus (142). Die Vorteile dieser Methode sind dieselben wie bei der Röntgenfluoreszenzanalyse. Nachteile stellen die geringen Einwaagemengen und der große apparative Aufwand dar. Das Vorhandensein einer Neutronenquelle ist Voraussetzung.

2.8.1.6 Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Die meisten Cd-Untersuchungen werden gegenwärtig in biologischem Material atomabsorptionsspektrometrisch durchgeführt. Diese Methode basiert auf dem Prinzip, daß in der Dampfphase im Grundzustand vorliegende Atome elektromagnetische Strahlung jener Wellenlänge absorbieren, die sie im angeregten Zustand emittieren (139). Verdampft man eine Cd-haltige Probe zu einer Wolke einatomigen Dampfes und schickt durch diese den Lichtstrahl einer Cd-Hohlkathodenlampe, so ist die Absorption des Lichtes der Elementkonzentration in der Atomdampf Wolke proportional. Zur Messung benutzt man bei Cd häufig seine 228,8 nm Absorptionslinie.

2.8.1.6.1 AAS mit Flamme

Die Atomisierung der Probe erfolgt dabei durch Versprühen in einer Luft/Azethylen- oder Lachgas/Azethylen-Flamme.

Vorteil dieser Methode ist der geringe Meßaufwand. Nachteilig wirken sich u.a. eine nicht befriedigende Atomisierungsrate aus, Schwankungen oder Veränderungen von Flammenuntergrund und -temperatur sowie Störungen durch Begleitstoffe (66).

2.8.1.6.2 AAS - flammenlos

Die Probe wird hierbei i.d.R. in ein elektrisch aufheizbares Graphitrohr eingespritzt. Bei Temperaturen von 2000 °C kommt es zur Atomisierung. Die dabei freigesetzten Atome verweilen bedeutend länger im Graphitrohr als in der Flamme. Die stärkere Lichtabsorption erhöht daher die Nachweisempfindlichkeit bis um den Faktor 500 (155). Eine solche flammenlose Atomisierungsvorrichtung stellt z.B. die nach ihrem Erfinder benannte MASSMANN-Küvette dar. In ihr wird die Probe zunächst getrocknet, dann thermisch zersetzt und schließlich atomisiert.

Nachteile dieser Methode sind der größere Arbeitsaufwand bei der Messung und die Notwendigkeit eventuell vorhandenen Matrixeinfüsse durch Deuteriumuntergrundkompensation oder Extraktion zu eliminieren.

2.8.2 Probenvorbereitung für die AAS

Das organische Material muß für die atomabsorptionsspektrometrischen Messung des Cd vollständig mineralisiert sein. Es kann sowohl trocken verascht als auch naß mineralisiert werden.

2.8.2.1 Trockenveraschung

2.8.2.1.1 Hochtemperaturveraschung

Bei der Hochtemperaturveraschung erfolgt die Mineralisation bei Temperaturen von zumeist mehr als 400 °C.

Ihre Vorteile sind die Veraschung auch größerer Mengen Probenmaterials und die Vermeidung der Einschleppung von Verunreinigungen durch Aufschlußreagenzien, ihr Nachteil ein möglicher Cd-Verlust durch Verflüchtigung.

2.8.2.1.2 Kaltveraschung

Bei ihr wirkt angeregter atomarer Sauerstoff in einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld unter Vakuumbedingungen auf die Probe ein. Die Veraschung des organischen Materials erfolgt bei Temperaturen nicht höher als 100 - 150 °C (66).

Als Vorteile der Kaltveraschung werden die geringeren Cd-Verflüchtigungen infolge der niedrigen Veraschungstemperatur angesehen, als Nachteile das nur geringe Fassungsvermögen der Veraschkammern sowie die nicht selten unvollständige Veraschung bestimmten Untersuchungsmaterials.

2.8.2.2 Naßveraschung

2.8.2.2.1 Nasse Mineralisation mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ oder HClO_4 im offenen System

Die Probe wird im Kjeldahlkolben so lange im Säuregemisch gekocht, bis eine klare Lösung vorliegt.

Als Vorteile sind die niedrigen Veraschungstemperaturen sowie die befriedigende Veraschung auch pflanzlichen Probenmaterials anzuführen, als Nachteile die oft nicht völlig farblose Lösung bei veraschtem tierischem Material sowie hohe Blindwerte bei Verwendung großer Mengen Säure zum Aufschließen.

2.8.2.2.2 Nasse Mineralisation mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ und Fe^{++} -Ionen in der Kjeldahlapparatur

Der Aufschluß des Probenmaterials erfolgt nach Zugabe von HNO_3 mit 30 %igem H_2O_2 und Fe^{++} -Ionen. Bei Untersuchungsmaterial mit hohen originären Fe-Gehalten, z.B. Nieren-, Lebern-

und Muskelproben, kann der Zusatz von Fe^{++} -Ionen unterbleiben. Das H_2O_2 wird durch eine Schlauchpumpe in einer Geschwindigkeit von etwa 60 ml/h zugetropft (67).

Als Vorteile dieser Veraschungsmethode sind die schonenden Aufschlußbedingungen (Temperatur 110°C) zu nennen. Die Temperatur überschreitet 110°C kaum. Verluste durch Verflüchtigung sind deshalb kaum zu befürchten. Die Methode eignet sich zudem gut für die Mineralisation größerer Proben Muskulatur und Organe. Der relativ große Zeitaufwand wirkt sich dagegen etwas nachteilig aus. Die Verwendung von technischem H_2O_2 ergibt relativ hohe Blindwerte. Sie können jedoch durch Benutzung von H_2O_2 DAB 6 vermieden werden.

2.8.2.2.3 Naßveraschung unter Druck

Das Untersuchungsmaterial wird durch starke Oxidationsmittel wie HNO_3 oder H_2SO_4 zerstört. Die Proben werden bei $100 - 150^\circ\text{C}$ in Metallbomben mit Tefloneinsätzen unter Druck innerhalb von 6 Stunden verascht.

Als Vorteile müssen hier die niedrigen Veraschungstemperaturen, die kurze Veraschungszeit und die nur geringe Gefahr von Cd-Verlusten durch Verflüchtigung genannt werden. Nachteile sind mögliche Mineralverluste durch Absorption oder Reaktion mit dem Gefäßmaterial (66), bei kleineren Metallbomben kleine Einwaagen sowie eine eventuelle Verunreinigung der Analysenlösung durch Aufschlußreagenzien.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Untersuchungsmaterial

Ziel der Untersuchungen war die Erfassung einer eventuellen Abhängigkeit der Cd-Gehalte in Nieren, Lebern und Muskulatur bei Schlachtschweinen vom Cd-Gehalt des an die Tiere verabreichten Futters.

Zu diesem Zweck wurden Betriebe mit den derzeit in der Schweinemast der BRD am häufigsten anzutreffenden Fütterungsregimen ausgewählt. Dabei wurde auf einen möglichst hohen Anteil betriebseigener Futtermittel in der Futterration der Tiere dieser Betriebe Wert gelegt, um die Schwankungen im Cd-Gehalt zugekaufter Futterpartien zu vermeiden. Er läßt eventuell auch Hinweise auf die Cd-Belastung der Standorte dieser Betriebe und deren Auswirkung auf die Cd-Gehalte dort gemästeter Schweine zu. Aus diesem Grunde waren Betriebe auch aus Gebieten mit vermutlich stark differierender Cd-Umweltbelastung ausgesucht worden.

Über die Lage der Betriebe, die Mastart und die Zahl pro Betrieb untersuchter Schweine bzw. die Anzahl Proben aus Nieren, Lebern und Muskulatur informiert synoptisch Tabelle 15.

Tabelle 15: Lage der Betriebe, Mastart und pro Betrieb untersuchte Schweine bzw. Proben aus Nieren, Lebern und Muskulatur

Lage	Mastart	Nieren	Lebern	Muskulatur
München (Betrieb Nr.1)	Getreide	52	52	20
Castrop-Rauxel (Betrieb Nr.2)	Getreide	32	32	--
Mülheim/Ruhr (Betrieb Nr.3)	Molke	23	23	10
Starnberg (Betrieb Nr.4)	Küchenabfälle	19	19	--
Bayreuth (Betrieb Nr.5)	Hackfrucht (Kartoffeln)	37	37	37
	insgesamt	163	163	67

Die Betriebe Nr. 2 und 3 liegen im Ruhrgebiet, Betrieb Nr. 2 in unmittelbarer Nähe potentieller Cd-Emittenten. Der Betrieb Nr. 1 im Norden von München. Er bewirtschaftet auch klärschlamm-gedüngte Futterflächen. Betrieb Nr. 4 im Südwesten von München und Betrieb Nr. 5 in der Gegend südlich von Bayreuth repräsentieren 2 Regionen mit geringer Cd-Umweltkontamination.

Das Futter wurde während der Mast der Schweine in zumeist wöchentlichen oder 14-tägigen Abständen auf seine Cd-Gehalte untersucht und dabei die an die Tiere zur Verfütterung gelangten Futtermischungen entnommen (Futterwagen, Futtertrog). Außerdem wurde die verfütterten Mengen Futter registriert.

Die Zusammensetzung der Futterrationen und die pro Betrieb untersuchte Anzahl Futterproben sind aus Tabelle 16 (Seite 39) ersichtlich.

In Betrieb Nr. 1 bestand die Futtermischung zu je einem Drittel aus geschroteter Gerste, Mais und Weizen sowie Mineralstoffen und Eiweißkonzentrat. Futterproben waren 9 mal über einen Zeitraum von 4 Monaten während der Mast entnommen worden.

Die Schweine in Betrieb Nr. 2, wie Betrieb Nr. 1 ebenfalls ein Getreidemastbetrieb, erhielten Futterrationen, bestehend zu 85 % aus betriebseigener geschroteter Gerste sowie 10 % Sojaschrot, 3,3 % Fischmehl und einem Zusatz von ca. 2 % an vitaminisiertem Mineralfutter. Aus diesem Betrieb wurde in der Zeit vom 12.12.1978 bis 26.3.1979 fünfmal Futterproben entnommen.

In Betrieb Nr. 3, einem Molkenmastbetrieb, setzte sich die tägliche Futterration der Schweine aus 8 kg Molke, 1,7 kg Corn-Cob-Mix und 1 kg Kraftfutter (40 % Sojaschrot, 2,5 % Brotmehl, 6,25 % Mineralstoffe, 28,75 % geschrotete Gerste und geschroteter Weizen) zusammen. Aus diesem Betrieb gelangten während der Mast 4 Futterproben zur Untersuchung.

Betrieb Nr. 4 mästete seine Schweine mit abgekochten Küchenabfällen, zumeist Kartoffeln, Soßen und Gemüse. Sie waren von supziger Konsistenz. Die Zusammensetzung variierte erheblich. Die Tiere erhielten außerdem ein Ergänzungsfutter, das zum größten Teil aus Sojaschrot, Gerste und Mineralstoffen bestand. Die Entnahme der Futterproben erfolgte 4 mal innerhalb von 25 Tagen.

Bei Betrieb Nr. 5 handelte es sich um einen Hackfruchtmastbetrieb. Die Tagesration der Schweine bestand aus 7,5 kg silierten Kartoffeln und 1,5 kg Beifutter (Gerste 60 %, daneben Weizen, Roggen und Mineralstoffe). Aus diesem Betrieb wurden 5 Proben Futter innerhalb von knapp 3 Monaten entnommen.

Bei den Mastschweinen handelte es sich durchwegs um Tiere der Rasse "Deutsche Landrasse". Sie wurden bei einem Mastendgewicht von 100 - 110 kg geschlachtet. Pro Tier gelangten jeweils 100 g Schweineproben aus der Niere (n = 163), der Leber (n = 163) und bei einer Anzahl Tiere (n = 67) auch aus der Zwerchfellmuskulatur zur Untersuchung. Die Entnahme der Proben erfolgte am Schlachthof bzw. in Metzgereien unmittelbar nach Beendigung der amtlichen Fleischuntersuchung. Die Proben wurden sofort einzeln in Cd-freie Kunststoffbeutel verpackt und bis zur Analyse tiefgefrostet bei -18 °C im Tiefkühlschrank aufbewahrt.

Tabelle 16: Zusammensetzung der verabreichten Futterrationen und Anzahl (n) pro Betrieb untersuchter Proben

	n	Gerste	Mais	Weizen	Roggen	Sojaschrot	Molke	Fischmehl	Kartoffeln	Küchenabfälle	Mineralfutter
Betr. Nr.1	9	+	+	+	+						+
Betr. Nr.2	5	+				+		+			+
Betr. Nr.3	4	+	+	+		+	+				+
Betr. Nr.4	4	+				+				+	+
Betr. Nr.5	5	+		+	+				+		+

1 39 1

3.2 Eigene Methodik

3.2.1 Vorbereitung des Probenmaterials

Der Cd-Gehalt in Futtermitteln sowie in Nieren, Lebern und Muskulatur wurde nach nasser Mineralisation des Untersuchungsmaterials in Druckaufschlußgefäßen und anschließender Extraktion (43) mit 2 %igem, in Xylol gelöstem Diäthylammonium-N.N.-diäthyl-dithiocarbaminat flammenlos atomabsorptionsspektrometrisch gemessen. Diese Methode hatte sich in anderen Untersuchungen als einfach und ohne größeren Geräte- und Zeitaufwand durchführbar erwiesen. Sie besitzt ausreichende Empfindlichkeit und Genauigkeit.

Das Probenmaterial (Futter, tierisches Gewebe) wurde nach seiner Homogenisierung in einer Moulinette im Druckaufschlußgefäß (modifiziert nach WISSMATH (145)) mit konzentrierter HNO_3 Suprapur, Fa. Merck, naß verascht. Zur optimalen Veraschung erwiesen sich folgende Einwaagen und Säure- bzw. Wassermengen als am geeignetsten:

- 500 mg Niere + 3 ml konzentrierte Salpetersäure Suprapur (mindestens 65 %ig) + 3 ml Aqua dest.
- 1000 mg Leber + 3 ml konz. HNO_3 Suprapur + 3 ml Aqua dest.
- 5000 mg Muskulatur + 5 ml konz. HNO_3 Suprapur + 5 ml Aqua dest.
- 500 mg Futtermittel + 3 ml konz. HNO_3 Suprapur + 10 ml Aqua dest.

Die Druckaufschlußgefäße bestehen aus 100 ml Teflonbechern in eloxierten Aluminiummänteln mit V2A-Schraubverschlüssen. Beim Zuschrauben des Deckels wird der Teflon-Nutdeckel durch eine Feder und eine V2A-Andrückplatte so fest gegen den Teflonbecher gepreßt, daß dieser absolut luftdicht verschlossen ist. Die Mineralisation der Probe erfolgt im Trockenschrank bei 135°C . Die Veraschungszeit beträgt 6 Stunden. Nach der Entnahme der Druckaufschlußgefäße aus dem Trockenschrank läßt man diese unter dem Abzug abkühlen, wodurch Verluste beim Öffnen der Teflonbecher durch Verspritzen von Aufschlußgut vermieden werden.

Die klare Aufschlußflüssigkeit wird unter mehrmaligem Abspülen von Becher und Deckel mit Aqua dest. in einen mit verdünnter

HNO_3 gereinigten Schütteltrichter überführt, dann je 3 Tropfen Bromthymolblau als Indikator zugegeben und die vorgelegte HNO_3 mit NH_3 bis zum Farbumschlag rücktitriert (pH-Bereich 6 - 8). Die gleiche Menge NH_3 wird für die Erstellung des Blindwertes mit HNO_3 rücktitriert.

Die Herstellung der zur Eichung der Meßvorrichtung notwendigen Lösungen, sie enthielten 5, 10 bzw. 20 μg Cd/l erfolgte aus einer mit Titrisol der Firma Merck erstellten 1 μg Cd/ml Cd-Stammlösung.

Die Eichlösungen werden wie die Probelösungen auch mit 3 Tropfen Bromthymolblau versetzt, die für die Erstellung des Blindwertes verbrauchte Menge an konz. HNO_3 Suprapur hinzugefügt und mit NH_3 bis zum Farbumschlag rücktitriert.

Die wäßrigen Lösungen der Proben, des Blindwertes und der Eichreihe werden dann mit je 5 ml Xylol, dem 2 % Diäthylammonium-N.N.-diäthylthiocarbaminat als Komplexbildner zugesetzt worden war, 5 Minuten lang extrahiert.

Von jeder Probe wurden jeweils Doppelansätze hergestellt.

3.2.2 Messung

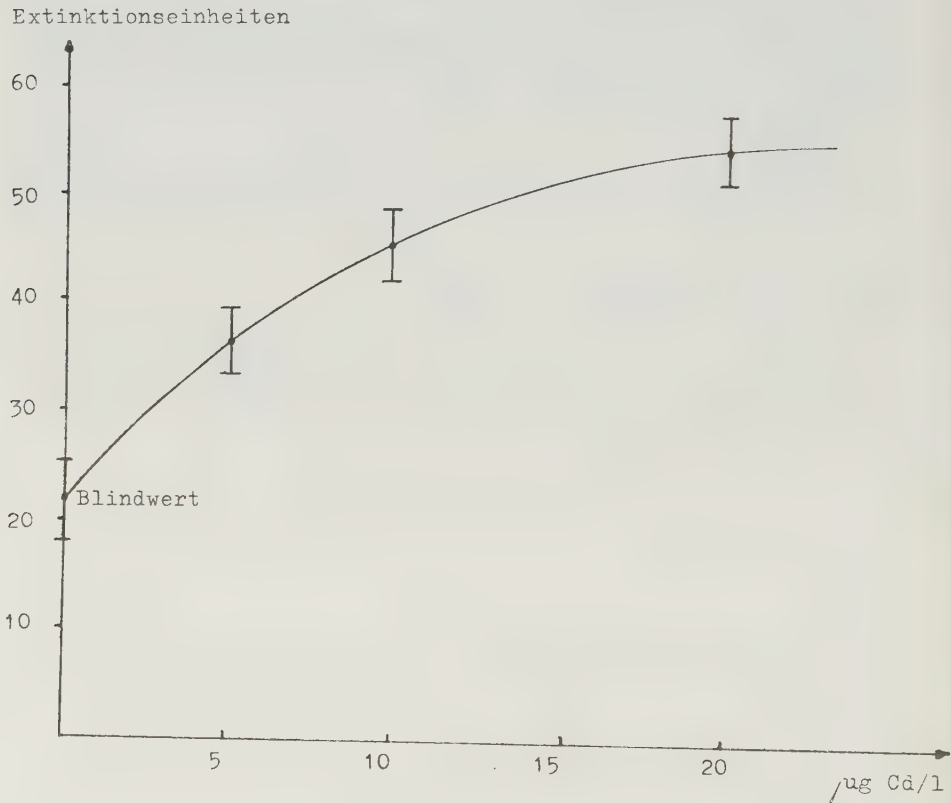
Die Messung erfolgte flammenlos atomabsorptionsspektrometrisch. Es stand dafür ein Atomabsorptionsspektrometer mit MASSMANN-Küvette der Firma Beckman, Modell 444, zur Verfügung.

Folgende Geräteeinstellung erwies sich für die Messung am günstigsten:

Cd-Resonanzlinie	228,8 nm	
Trocknungsstufe	150 °C	25 sec.
Veraschungsstufe	500 °C	15 sec.
Atomisierungsstufe	2900 °C	5 sec.

Die Erstellung einer linearen Eichkurve war bei den Cd-Konzentrationen im Untersuchungsmaterial nicht möglich. Mit Hilfe von 3 Eichkonzentrationen und dem Blindwert mußte deshalb jeden Meßtag eine nichtlineare Funktion der Art $y = a + bx + cx^2$ errechnet werden.

Eine mittlere, aus dem Meßwerten mehrerer Tage ($n = 5$) ermittelte Eichkurve, gibt die folgende Abbildung wieder:



Auch die Schwankungen des Blindwertes und der Eichlösungen machen die Erstellung einer Eichkurve für jeden einzelnen Meßtag erforderlich.

3.2.3 Untere Nachweisgrenze der Methode für Cd

Die Feststellung der unteren Nachweisgrenze der Methode für Cd erfolgt nach dem Prinzip, daß die Differenz zwischen der mittleren Meßgröße und dem mittleren Grenzwert größer als ein Vielfaches K der Standardabweichungen der Blindwerte ist (66). Mit $K = 3$ beträgt die statistische Sicherheit 99,9 %.

Zu Ihrer Bestimmung wurden 7 Blindwertlösungen verwendet. Die Einzelextinktionswerte, der mittlere Extinktionswert ($\bar{x}$) und die Standardabweichung (s) sind aus der nachfolgenden Aufstellung ersichtlich. In ihr sind auch die Extinktionseinheiten der Eichlösungen mit 5, 10 und 20 $\mu\text{g Cd/l}$ mitaufgeführt.

Blindwertlösungen	Extinktionseinheiten
Nr. 1	14
2	14,5
3	14,5
4	16
5	16
6	16
7	16
	$\bar{x} = 15,3$
	$s = (\pm) 0,9$
Eichlösungen:	Extinktionseinheiten:
5 $\mu\text{g Cd/l}$	29
10 $\mu\text{g Cd/l}$	38,5
20 $\mu\text{g Cd/l}$	48,5

Ihr zufolge beläuft sich der mittlere Extinktionswert auf 15,3 Extinktionseinheiten, seine Standardabweichung auf $(\pm) 0,9$ Einheiten. 3 K betragen demnach 2,7 Extinktionseinheiten.

Die untere Nachweisgrenze errechnet sich daraus durch Eingabe der Extinktionseinheit von 18 ($15,3 + 2,7$) für den mittleren Blindwert ($\bar{x}$) + 3 K in die Eichkurve auf $< 0,6 \mu\text{g Cd/l}$.

3.2.4 Gesamtfehler der Cd-Bestimmung

Zur Ermittlung des Gesamtfehlers, er beinhaltet unter anderem Meß- und methodischen Fehler, wurde bei 5 Ansätzen von "Orchard Leaves" mit einem zertifizierten Cd-Gehalt von 0,110 mg/kg TS und bei 10 Einzelproben aus einer Schweineleber die Cd-Gehalte bestimmt.

Über die Cd-Gehalte in den Proben "Orchard Leaves" und Schweineleber, die arithmetischen Mittelwerte, absolute sowie relative Standardabweichung (VK = Variationskoeffizient), letztere entspricht zugleich dem Gesamtfehler der Bestimmungsmethode, informiert die folgende Aufstellung:

a) "Orchard Leaves" $\mu\text{g Cd/kg TS}$

1. Probe	112
2. "	108
3. "	105
4. "	108
5. "	115

$$\bar{x} = 109,6$$

$$s = (\pm) 3,9$$

$$VK = (\pm) 3,6$$

b) Schweineleber $\mu\text{g Cd/kg Fg}$

1. Probe	76
2. "	68
3. "	70
4. "	74
5. "	81
6. "	81
7. "	74
8. "	76
9. "	81
10. "	76

$$\bar{x} = 75,7$$

$$s = (\pm) 4,5$$

$$VK = (\pm) 5,9$$

Die Unterschiede zwischen den Gesamtfehlern der Cd-Bestimmungen bei "Orchard Leaves" und Schweinelebern sind vermutlich auf die größere Homogenität der "Orchard Leaves"-Probe zurückzuführen.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Darstellung

3.3.1.1 Futtermittel

Die Cd-Gehalte im in den 5 Betrieben an die Schweine verabreichten Futter gibt synoptisch Tabelle 17 (Seite 48) wieder.

Für die Proben des Betriebes Nr. 1 sind sie aus Tabelle 18 (Seite 49)	
des Betriebes Nr. 2	Tabelle 19 (Seite 49)
des Betriebes Nr. 3	Tabelle 20 (Seite 50)
des Betriebes Nr. 4	Tabelle 21 (Seite 50)
des Betriebes Nr. 5	Tabelle 22 (Seite 51)

ersichtlich.

3.3.1.2 Nieren, Lebern und Muskulatur

Einen Überblick über die durchschnittlichen Cd-Gehalte in Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine aus den 5 untersuchten Betrieben gewähren Tabelle 23 (Seite 52), Tabelle 24 (Seite 53) und Tabelle 25 (Seite 54).

Sie sind im einzelnen zusammen mit den Probenahmeterminen	
für Betrieb Nr. 1	aus Tabelle 26 (Seite 55),
für Betrieb Nr. 2	aus Tabelle 27 (Seite 57),
für Betrieb Nr. 3	aus Tabelle 28 (Seite 59),
für Betrieb Nr. 4	aus Tabelle 29 (Seite 60) und
für Betrieb Nr. 5	aus Tabelle 30 (Seite 61)

ersichtlich.

Zur besseren Veranschaulichung der Ergebnisse, vor allem aber auch im Hinblick auf die Kenngrößen der Verteilung der Einzel-

werte innerhalb der einzelnen Tierkollektive sind in den Abbildungen 1 - 13 die relative wie die numerische Häufigkeitsverteilung der Cd-Gehalte von Nieren, Lebern und Muskulatur wiedergegeben. (Die Klassenintervalle wurden jeweils entsprechend der Größe der Kollektive der Verteilung der Einzelwerte gewählt.)

Abbildung 1 (Seite 63) zeigt sie für die Cd-Gehalte in den Nieren,
Abbildung 2 (Seite 64) für die Cd-Gehalte in den Lebern,
Abbildung 3 (Seite 65) für die Cd-Gehalte in der Muskulatur
der Schweine aus Betrieb Nr. 1,
Abbildung 4 (Seite 66) für die Cd-Gehalte in den Nieren,
Abbildung 5 (Seite 67) für die Cd-Gehalte in den Lebern,
der Schweine aus Betrieb Nr. 2,
Abbildung 6 (Seite 68) für die Cd-Gehalte in den Nieren,
Abbildung 7 (Seite 69) für die Cd-Gehalte in den Lebern,
Abbildung 8 (Seite 70) für die Cd-Gehalte in der Muskulatur
der Schweine aus Betrieb Nr. 3,
Abbildung 9 (Seite 71) für die Cd-Gehalte in den Nieren,
Abbildung 10 (Seite 72) für die Cd-Gehalte in den Lebern
der Schweine aus Betrieb Nr. 4,
Abbildung 11 (Seite 73) für die Cd-Gehalte in den Nieren,
Abbildung 12 (Seite 74) für die Cd-Gehalte in den Lebern,
Abbildung 13 (Seite 75) für die Cd-Gehalte in der Muskulatur
der Schweine aus Betrieb Nr. 5.

Die intrakollektiven Korrelationen der Cd-Gehalte in den untersuchten Geweben sind

in Graphik 1 (Seite 76) für die Beziehung Cd-Gehalte Nieren/
Cd-Gehalte Leber,

in Graphik 2 (Seite 77) für die Beziehung Cd-Gehalte Nieren/
Cd-Gehalte Muskulatur,

in Graphik 3 (Seite 78) für die Beziehung Cd-Gehalte Leber/
Cd-Gehalte Muskulatur

bei den Schweinen des Betriebes Nr. 1 und

in Graphik 4 (Seite 79) für die Beziehung Cd-Gehalte Nieren/
Cd-Gehalte Leber

bei den Tieren aus Betrieb Nr. 5

dargestellt.

Die interkollektiven Beziehungen zwischen den Cd-Gehalten der Nieren ($\mu\text{g/kg Fg}$) und den Cd-Gehalten im an die Schweine verabreichten Futter sind aus Graphik 5 (Seite 80), für Lebern und Futter aus Graphik 6 (Seite 81) und für Muskulatur und Futter aus Graphik 7 (Seite 82) ersichtlich.

Auf die Einzeichnung einer Regressionsgeraden wurde wegen der zu geringen Anzahl von nur 5 bzw. 3 Wertepaaren verzichtet, da für diesen Zweck üblicherweise mindestens 10 Wertepaare als notwendig angesehen werden.

Tabelle 17: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg TS}$), arithmetischer Mittelwert ($\bar{x}$), Standardabweichung (s), Streubreite (R) und Anzahl der untersuchten Futterproben (n) der in den 5 Betrieben an die Schweine verabreichten Futtermittel

Betrieb	Mastart	n	s	R	$\bar{x}$
Nr. 1	Getreide	9	($\pm$) 29	190 - 271	233
Nr. 2	Getreide	5	($\pm$) 20	136 - 190	169
Nr. 3	Molke	4	($\pm$) 15	160 - 194	177
Nr. 4	Küchenabfälle	4	($\pm$) 14	13 - 47	30
Nr. 5	Hackfrucht (Kartoffeln)	5	($\pm$) 6	122 - 137	131

Tabelle 18: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg TS}$) in den Futterproben aus
Betrieb Nr. 1

Tag der Probenahme	Cd
13.3.1979	251
27.4.1979	190
11.5.1979	209
18.5.1979	222
25.5.1979	245
1.6.1979	198
8.6.1979	250
29.6.1979	271
6.7.1979	261

$\bar{x} = 233$
 $s = (+) 29$

Tabelle 19: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg TS}$) in den Futterproben aus
Betrieb Nr. 2

Tag der Probenahme	Cd
12.12.1978	180
5. 2.1979	168
26. 2.1979	190
12. 3.1979	171
26. 3.1979	136

$\bar{x} = 169$
 $s = (+) 20$

Tabelle 20: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg TS}$) in den Futterproben aus Betrieb Nr. 3

Tag der Probenahme	Cd
12.12.1978	194
9. 1.1979	183
24. 1.1979	160
20. 2.1979	171
$\bar{x} = 177$	
$s = (+) 15$	

Tabelle 21: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg TS}$) in den Futterproben aus Betrieb Nr. 4

Tag der Probenahme	Cd
20.11.1978	13
5.12.1978	34
8.12.1978	26
15.12.1978	47
$\bar{x} = 30$	
$s = (+) 14$	

Tabelle 22: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg}$ TS) in den Futterproben aus
Betrieb Nr. 5

Tag der Probenahme	Cd
7. 6.1979	133
18. 6.1979	137
23. 7.1979	122
13. 8.1979	130
27. 8.1979	135
	$\bar{x} = 131$
	$s = (+) 6$

Tabelle 23:

Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg Fg}$) - Mittelwert ($\bar{x}$), Standardabweichung (s), Medianwert ($\tilde{x}$), 95 %-Vertrauensbereich (95 % VB) und Streubreite (R) - in den Nieren der Schweine aus den 5 untersuchten Betrieben

Betrieb	Mastart	n	$\bar{x}$	s	$\tilde{x}$	95 % VB	R
Nr. 1	Getreide	52	365	(+) 96	333	311 - 385	246 - 690
Nr. 2	Getreide	32	292	(+) 58	302	258 - 318	166 - 396
Nr. 3	Molke	23	299	(+) 60	302	280 - 319	190 - 457
Nr. 4	Küchenabfälle	19	238	(+) 31	237	212 - 261	176 - 293
Nr. 5	Hackfrucht (Kartoffeln)	37	313	(+) 77	311	274 - 333	167 - 527

1
5
2
1

Tabelle 24: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg Fg}$) - Mittelwert ($\bar{x}$), Standardabweichung (s), Medianwert ($\tilde{x}$), 95 %-Vertrauensbereich (95 % VB) und Streubreite (R) - in den Lebern der Schweine aus den 5 untersuchten Betrieben

Betrieb	Mastart	n	$\bar{x}$	s	$\tilde{x}$	95 % VB	R	
Nr. 1	Getreide	52	163	(+) 38	162	144 - 171	101 - 239	+
Nr. 2	Getreide	32	119	(+) 32	113	99 - 131	68 - 221	3 +
Nr. 3	Molke	23	122	(+) 44	111	89 - 149	54 - 204	+
Nr. 4	Küchenabfälle	19	27	(+) 10	26	19 - 31	14 - 54	
Nr. 5	Hackfrucht (Kartoffeln)	37	72	(+) 31	67	56 - 78	20 - 180	

Tabelle 25: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg Fg}$) - Mittelwert ($\bar{x}$), Standardabweichung (s), Medianwert ($\tilde{x}$), 95 %-Vertrauensbereich (95 % VB) und Streubreite (R) - in der Muskulatur der Schweine aus den 5 untersuchten Betrieben

Betrieb	Mastart	n	$\bar{x}$	s	$\tilde{x}$	95 % VB	R
Nr. 1	Getreide	0	27	(+) 18	23	15 - 39	4 - 58
Nr. 2	Getreide	-	-	-	-	-	-
Nr. 3	Molke	10	20	(+) 7	19	14 - 25	10 - 36
Nr. 4	Küchenabfälle	-	-	-	-	-	-
Nr. 5	Hackfrucht (Kartoffeln)	37	10	(+) 7	8	6 - 11	3 - 35

Tabelle 26: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg}$ Fg) in Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine aus Betrieb Nr. 1 (Getreidemast)

Tag der Probennahme	Proben nummer	Niere	Leber	Muskulatur
26. 3.1979	1	321	192	-
"	2	315	195	-
"	3	321	214	-
"	4	296	128	-
"	5	311	136	-
"	6	287	137	-
2. 4.1979	7	271	113	-
"	8	267	118	-
"	9	249	110	-
"	10	246	107	-
"	11	271	108	-
"	12	278	110	-
"	13	395	198	-
9. 4.1979	14	405	235	-
"	15	458	232	-
"	16	468	213	-
"	17	281	211	-
"	18	360	219	-
"	19	337	179	-
"	20	360	142	-
17. 4.1979	21	470	162	-
"	22	366	147	-
"	23	396	166	-
"	24	441	150	-
"	25	482	144	-
"	26	432	144	-
23. 4.1979	27	299	141	-
"	28	372	132	-
"	29	359	121	-
"	30	328	113	-

Fortsetzung von Tabelle 26

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber	Muskulatur
23. 4.1979	31	313	149	-
"	32	374	145	-
7. 5.1979	33	281	101	4
"	34	264	171	4
"	35	281	133	14
"	36	300	166	10
"	37	264	170	15
"	38	308	150	15
9. 7.1979	39	570	211	30
"	40	327	173	22
"	41	567	161	28
"	42	690	201	39
"	43	385	157	29
"	44	423	141	50
"	45	294	162	16
16. 7.1979	46	254	168	8
"	47	423	204	58
"	48	323	165	23
"	49	430	195	48
"	50	451	185	17
"	51	444	218	57
"	52	565	239	48

n	=	52	52	20
$\bar{x}$	=	365	163	27
s	=	($\pm$) 96	($\pm$) 38	($\pm$) 18
$\tilde{x}$	=	333	162	23
95% VB	=	311-385	144-171	15-39
R	=	246-690	101-239	4-58

Tabelle 27: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg}$ Fg) in Nieren und Lebern der Schweine aus Betrieb Nr. 2 (Getreidemast)

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber
12. 3.1979	1	327	119
"	2	274	127
"	3	298	132
"	4	309	131
"	5	298	122
"	6	334	144
"	7	368	150
"	8	315	139
"	9	395	221
"	10	377	175
19. 3.1979	11	373	104
"	12	396	94
"	13	312	109
"	14	316	113
"	15	305	94
"	16	233	80
"	17	265	79
26. 3.1979	18	196	142
"	19	166	167
"	20	337	128
"	21	235	99
"	22	220	79
"	23	242	68
"	24	205	88
17. 4.1979	25	267	107
"	26	329	111

Fortsetzung von Tabelle 27

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber
17. 4.1979	27	318	112
"	28	317	99
"	29	239	140
"	30	252	113
"	31	258	96
"	32	264	125
	n	= 32	32
	$\bar{x}$	= 292	119
	s	= (+) 58	(+) 32
	$\tilde{x}$	= 302	113
	95% VB	= 258-318	99-131
	R	= 166-396	68-221

Tabelle 28: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg Fg}$) in Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine aus Betrieb Nr. 3 (Molkenmast)

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber	Muskulatur
12. 3.1979	1	302	85	17
"	2	333	171	16
"	3	280	99	19
"	4	325	204	36
"	5	294	149	25
"	6	302	111	23
"	7	368	114	18
"	8	372	154	23
"	9	319	54	10
"	10	317	148	14
"	11	457	69	-
"	12	314	106	-
"	13	350	86	-
"	14	289	201	-
"	15	200	81	-
"	16	300	183	-
"	17	206	75	-
"	18	315	113	-
"	19	310	181	-
"	20	190	89	-
"	21	235	106	-
"	22	246	106	-
"	23	260	116	-

n	=	23	23	10
$\bar{x}$	=	299	122	20
s	=	($\pm$) 60	($\pm$) 44	($\pm$) 7
$\tilde{x}$	=	302	111	19
95% VB	=	280-319	89-149	14-25
K	=	190-457	54-204	10-36

Tabelle 29: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg}$ Fg) in Nieren und Lebern
der Schweine aus Betrieb Nr. 4 (Küchenabfälle)

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber
18.12.1978	1	198	26
"	2	238	42
"	3	247	27
"	4	237	54
"	5	228	24
"	6	252	19
"	7	237	31
"	8	293	32
"	9	214	19
"	10	284	42
"	11	233	14
"	12	275	16
"	13	261	27
"	14	212	21
"	15	176	19
"	16	208	26
"	17	208	29
"	18	274	17
"	19	241	28
	n	= 19	19
	$\bar{x}$	= 238	27
	s	= (+) 31	(+) 10
	$\tilde{x}$	= 237	26
	95% VB	= 212-261	19-31
	R	= 176-293	14-54

Tabelle 30: Cd-Gehalte ($\mu\text{g/kg Fg}$) in Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine aus Betrieb Nr. 5 (Hackfrucht)

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber	Muskulatur
18. 6.1979	1	328	66	9
"	2	284	67	7
"	3	325	76	14
"	4	356	56	11
"	5	167	20	5
"	6	373	31	9
"	7	445	125	7
"	8	277	146	10
"	9	294	64	8
23. 7.1979	10	266	51	4
"	11	331	51	22
"	12	291	61	27
"	13	311	75	8
"	14	280	76	4
"	15	420	70	7
"	16	426	90	7
"	17	337	80	8
"	18	347	69	12
13. 8.1979	19	328	41	5
"	20	356	38	11
"	21	454	80	6
"	22	239	37	6
"	23	269	51	3
"	24	208	67	10
"	25	333	92	17
"	26	375	86	12

Fortsetzung von Tabelle 30

Tag der Probennahme	Proben- nummer	Niere	Leber	Muskulatur
13. 8.1979	27	328	67	6
"	28	326	78	4
3. 9.1979	29	262	68	14
"	30	295	62	3
"	31	261	56	5
"	32	527	180	13
"	33	188	44	35
"	34	269	49	4
"	35	258	96	5
"	36	183	81	24
"	37	274	102	10
	n	= 37	37	37
	$\bar{x}$	= 313	72	10
	s	= (+) 77	(+) 31	(+) 7
	$\tilde{x}$	= 311	67	8
	95% VB	= 274-333	56- 78	6-11
	R	= 167-527	20-180	3-35

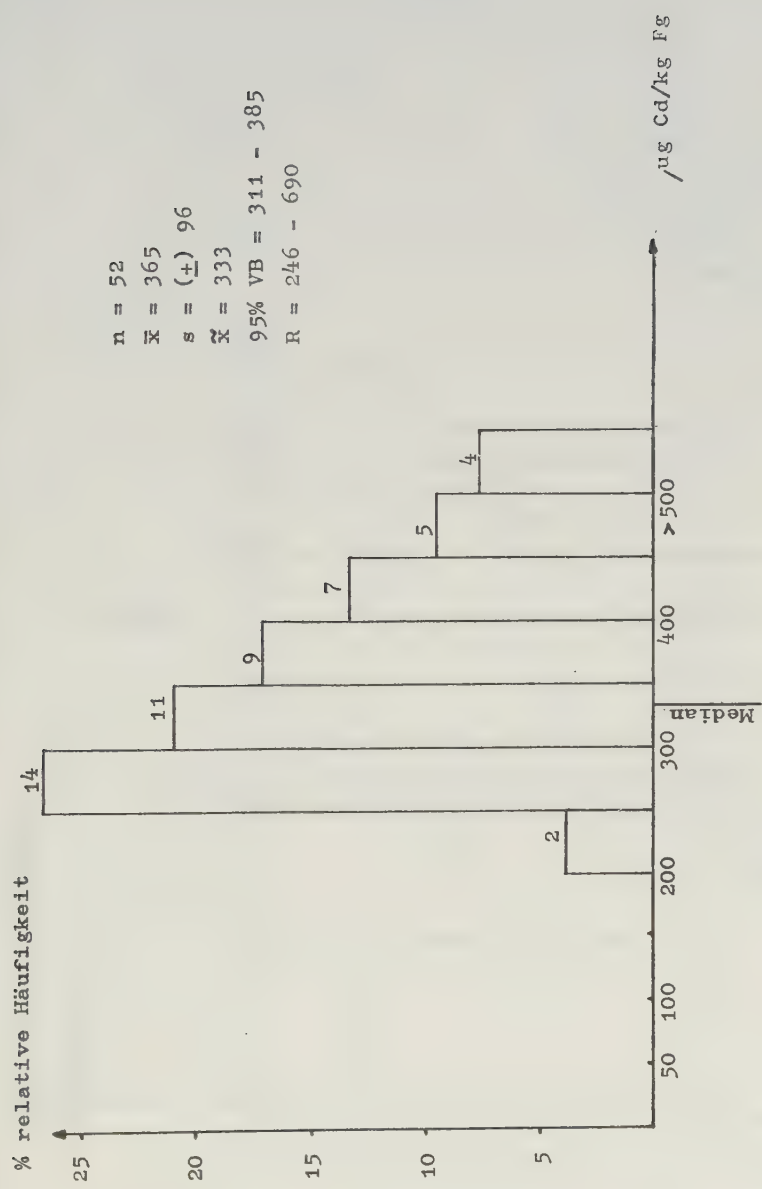
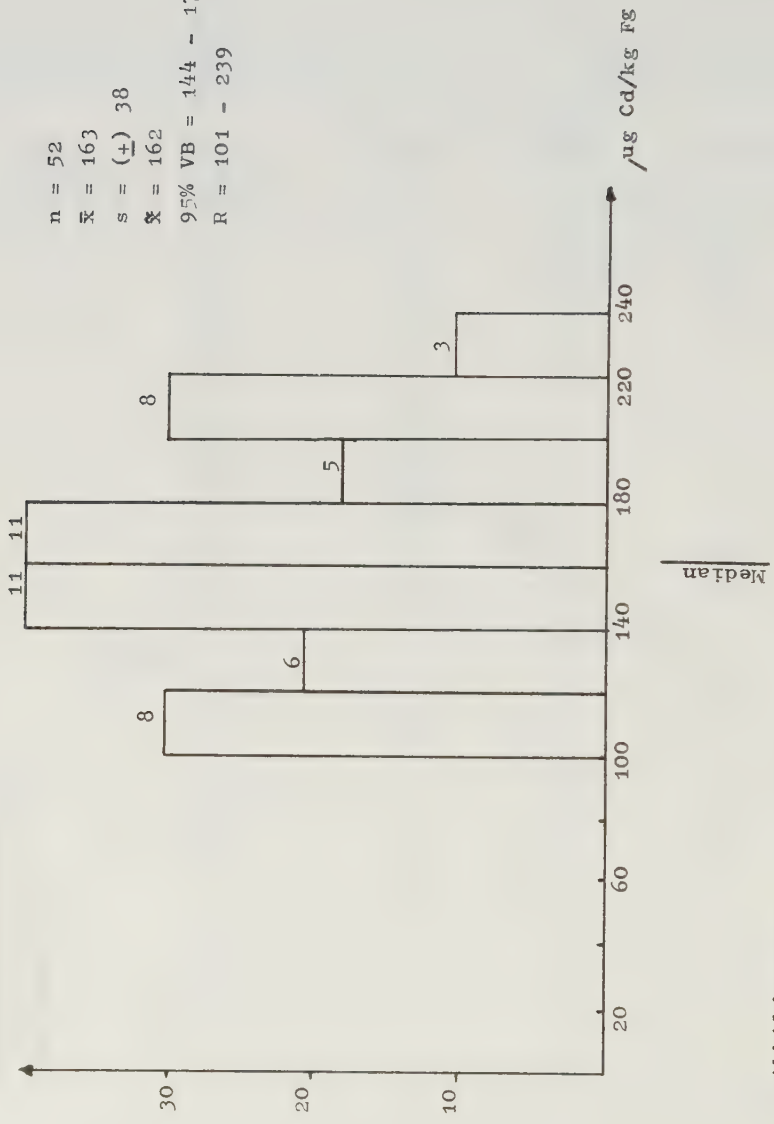


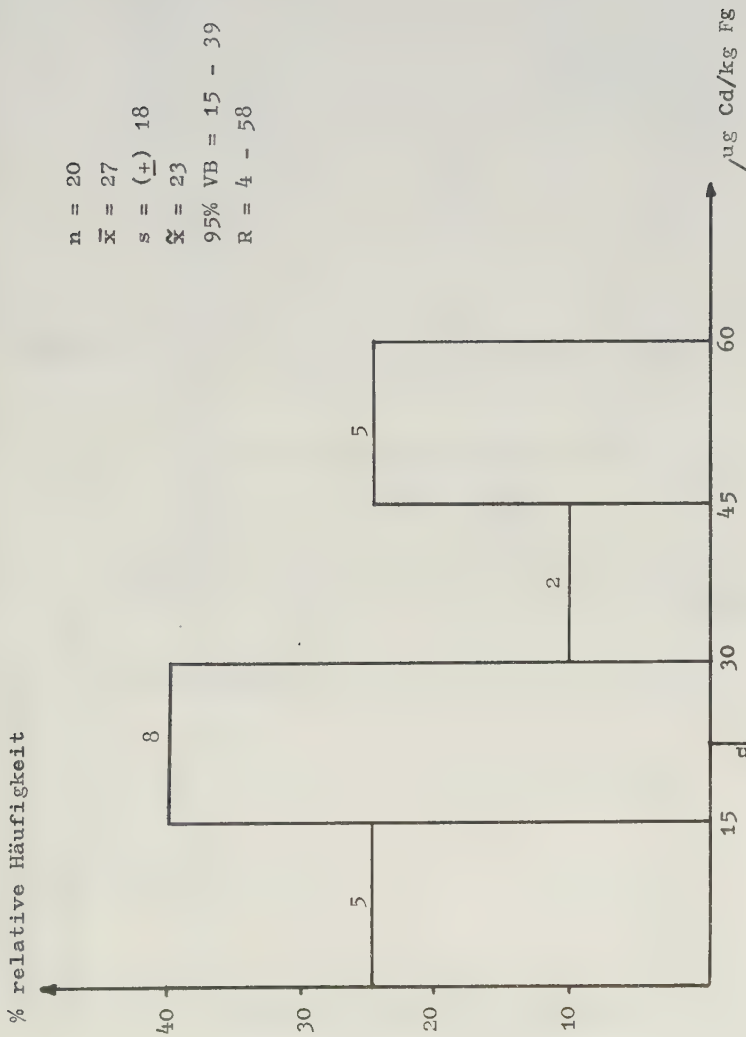
Abbildung 1:
Betrieb Nr. 1 Cd Nieren

% relative Häufigkeit



$n = 52$
 $\bar{x} = 163$
 $s = (+) 38$
 $\Sigma = 162$
 $95\% \text{ VB} = 144 - 171$
 $R = 101 - 239$

Abbildung 2:
 Betrieb Nr. 1 Cd Lebern

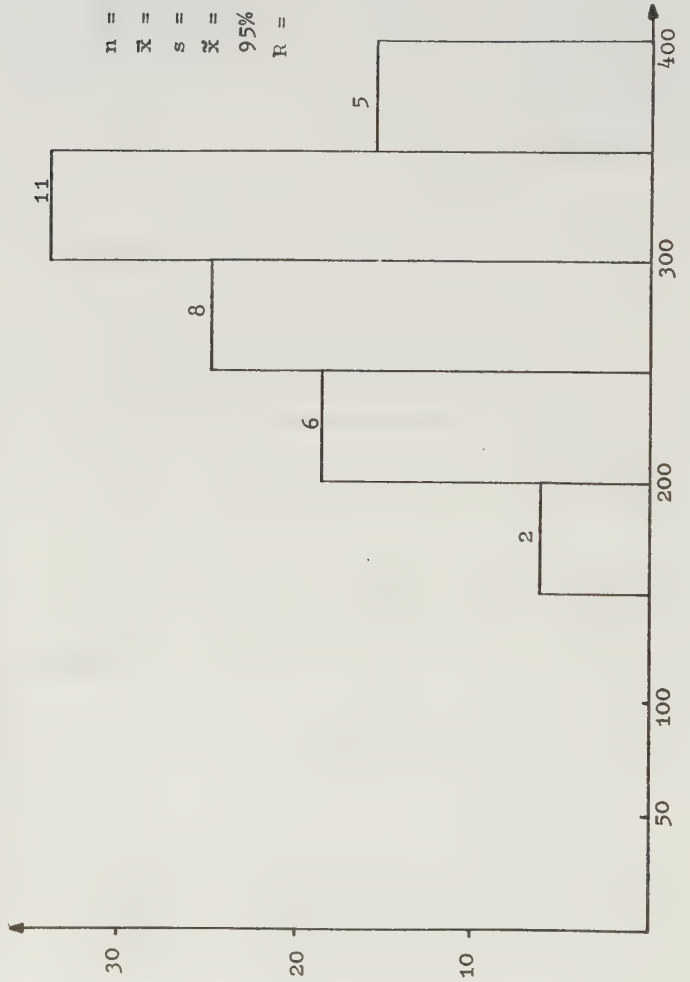


$n = 20$
 $\bar{x} = 27$
 $s = (\pm) 18$
 $\tilde{x} = 23$
 $95\% \text{ VB} = 15 - 39$
 $R = 4 - 58$

Abbildung 3:

Betrieb Nr. 1 Cd Muskulatur

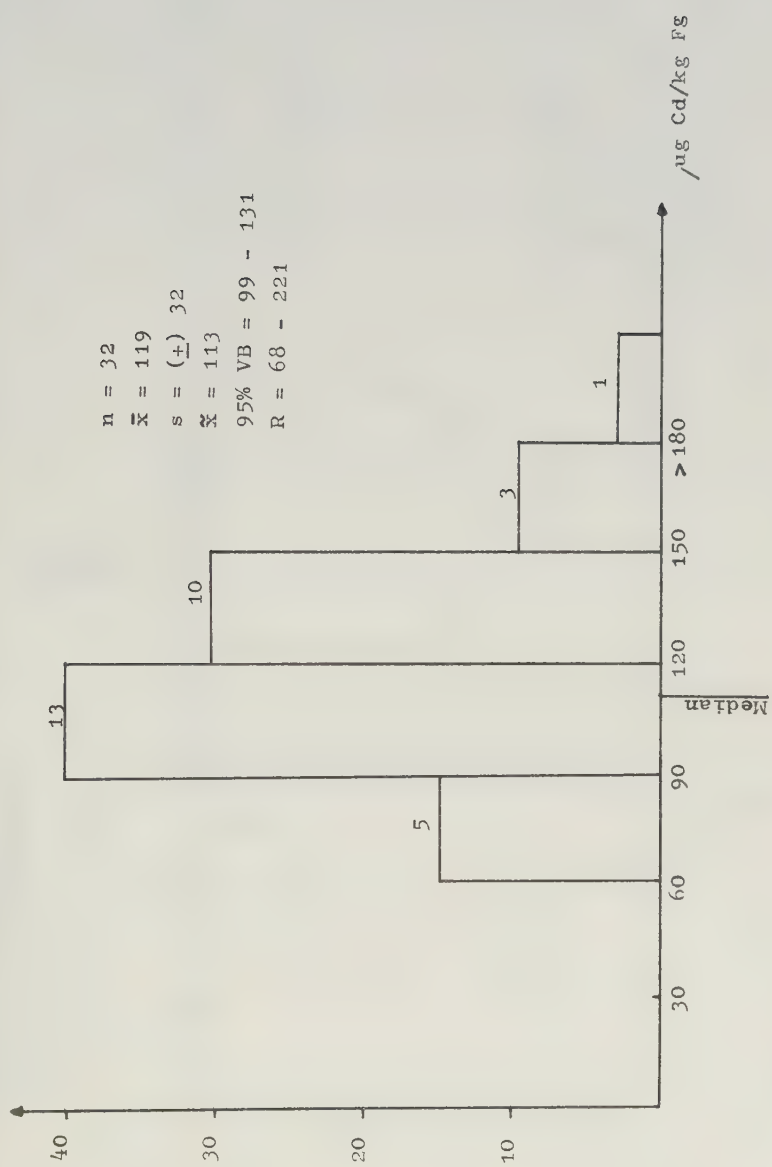
% relative Häufigkeit



$n = 32$
 $\bar{x} = 292$
 $s = (+) 58$
 $\bar{x} = 302$
 $95\% \text{ VB} = 258 - 318$
 $R = 166 - 396$

Abbildung 4:
Betrieb Nr. 2 Cd Nieren

% relative Häufigkeit

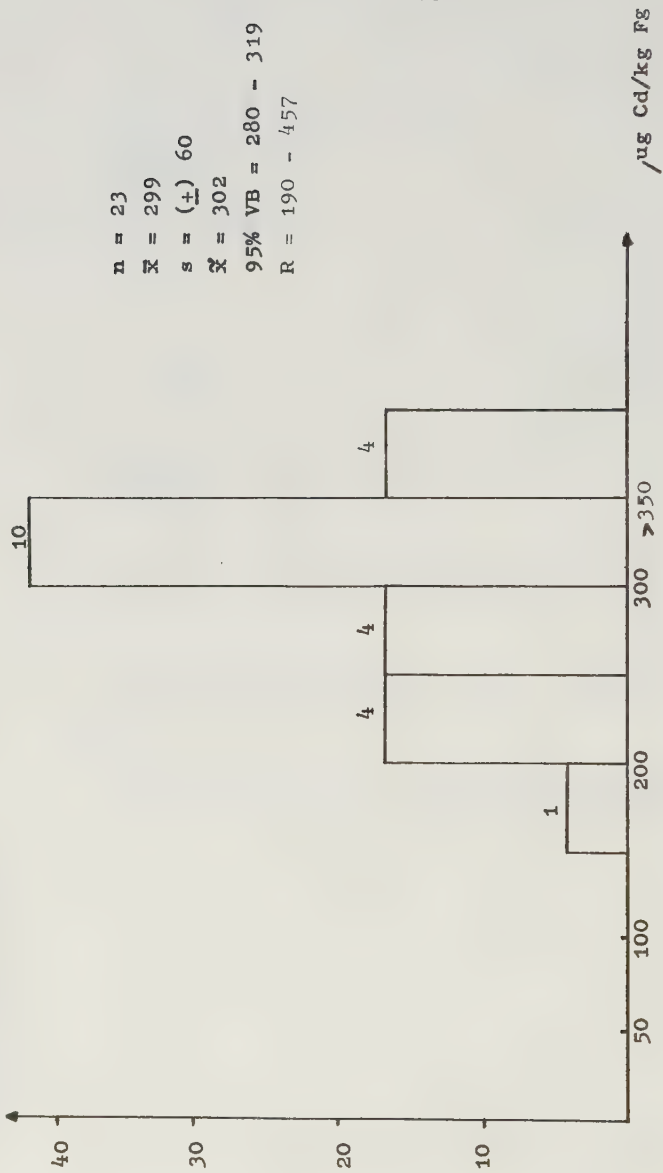


$n = 32$
 $\bar{x} = 119$
 $s = (+) 32$
 $\tilde{x} = 113$
 $95\% \text{ VB} = 99 - 131$
 $R = 68 - 221$

Abbildung 5:

Betrieb Nr. 2 Cd Lebern

% relative Häufigkeit



$n = 23$
 $\bar{x} = 299$
 $s = (+) 60$
 $\bar{x} = 302$
 $95\% \text{ VB} = 280 - 319$
 $R = 190 - 457$

Abbildung 6:

Betrieb Nr. 3 Cd Nieren

% relative Häufigkeit

12

50

40

30

20

10



Median

Abbildung 7:

Betrieb Nr. 3 Cd Lebern

$n = 23$

$\bar{x} = 122$

$s = (\pm) 44$

$\tilde{x} = 111$

95% VB = 89 - 149

R = 54 - 204

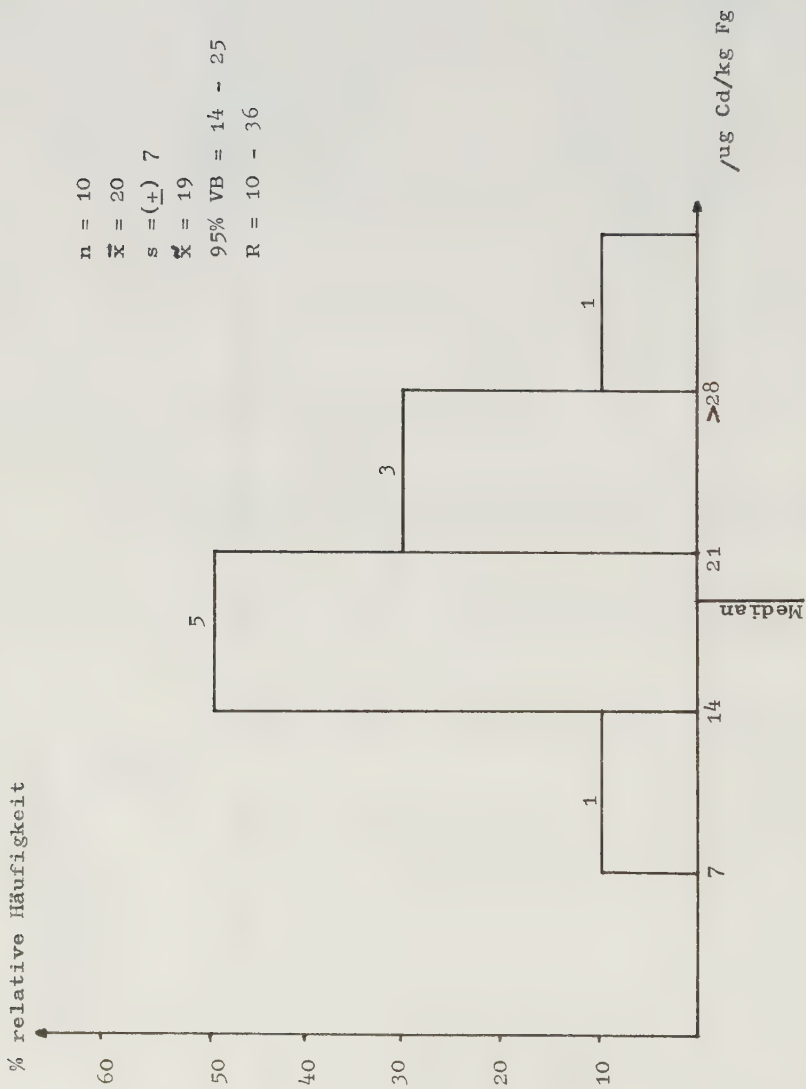


Abbildung 8:

Betrieb Nr. 3 Cd Muskulatur

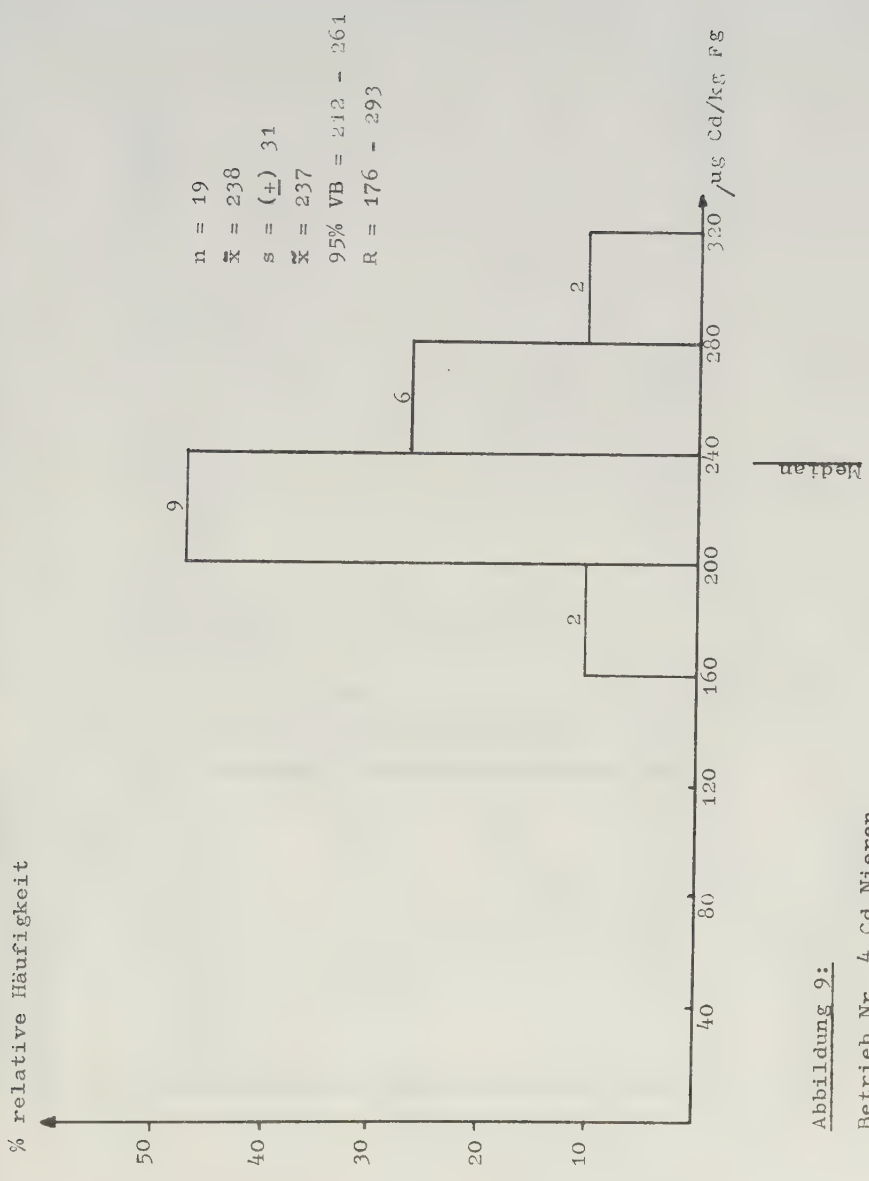


Abbildung 9:
Betrieb Nr. 4 Cd Nieren

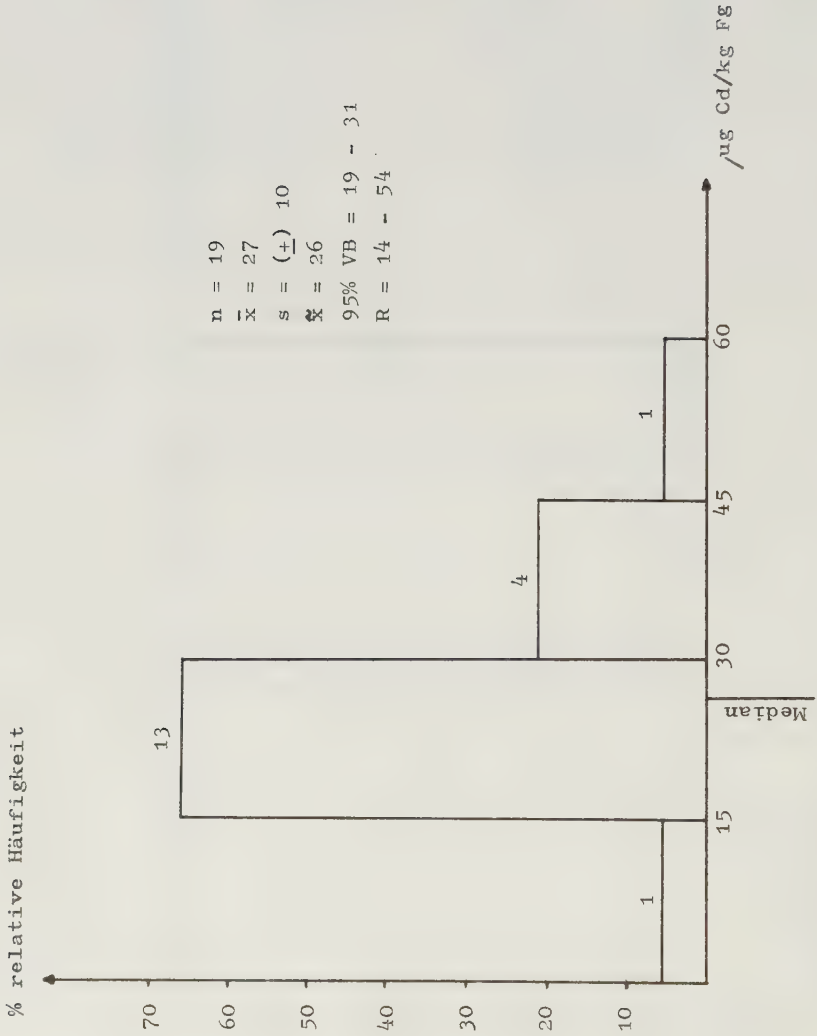
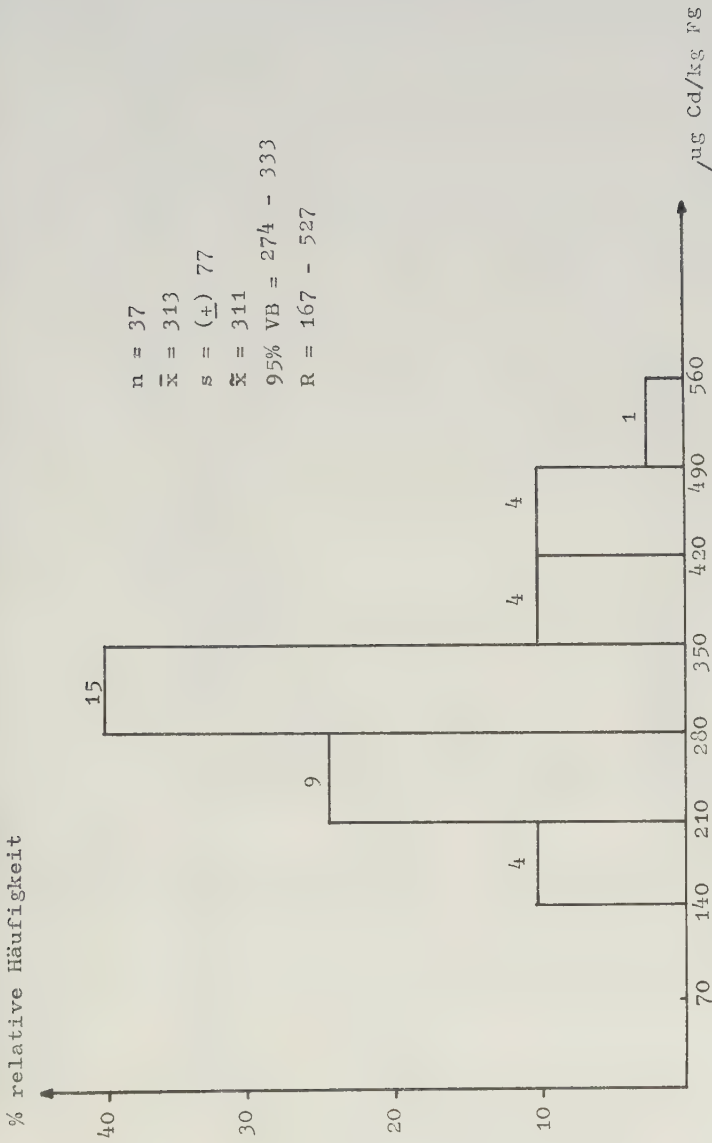


Abbildung 10:

Betrieb Nr. 4 Cd Lebern



$n = 37$
 $\bar{x} = 313$
 $s = (\pm) 77$
 $\tilde{x} = 311$
 $95\% \text{ VB} = 274 - 333$
 $R = 167 - 527$

Abbildung 11:

Betrieb Nr. 5 Cd Nieren

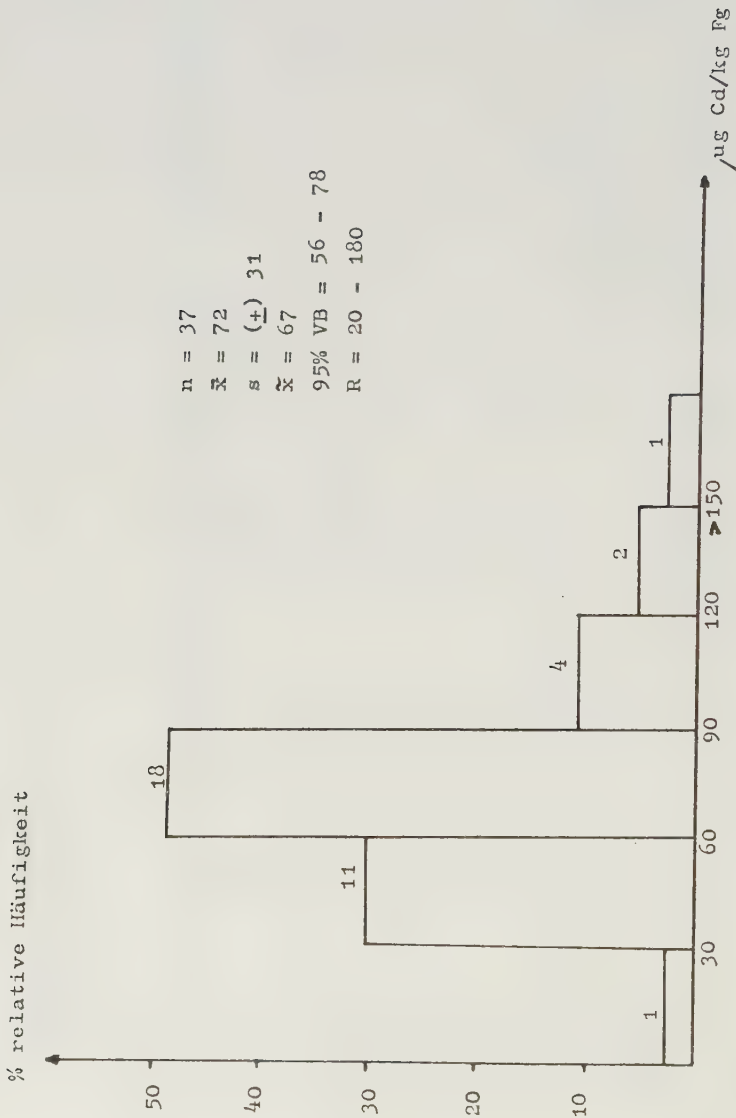
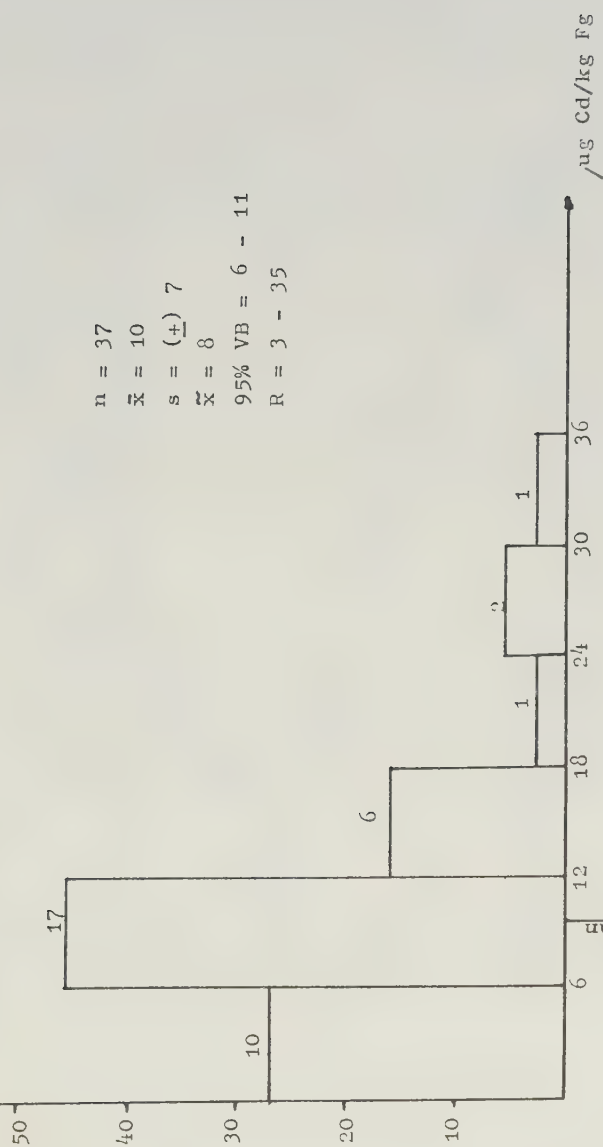


Abbildung 12:

Betrieb Nr. 5 Cd Lebern

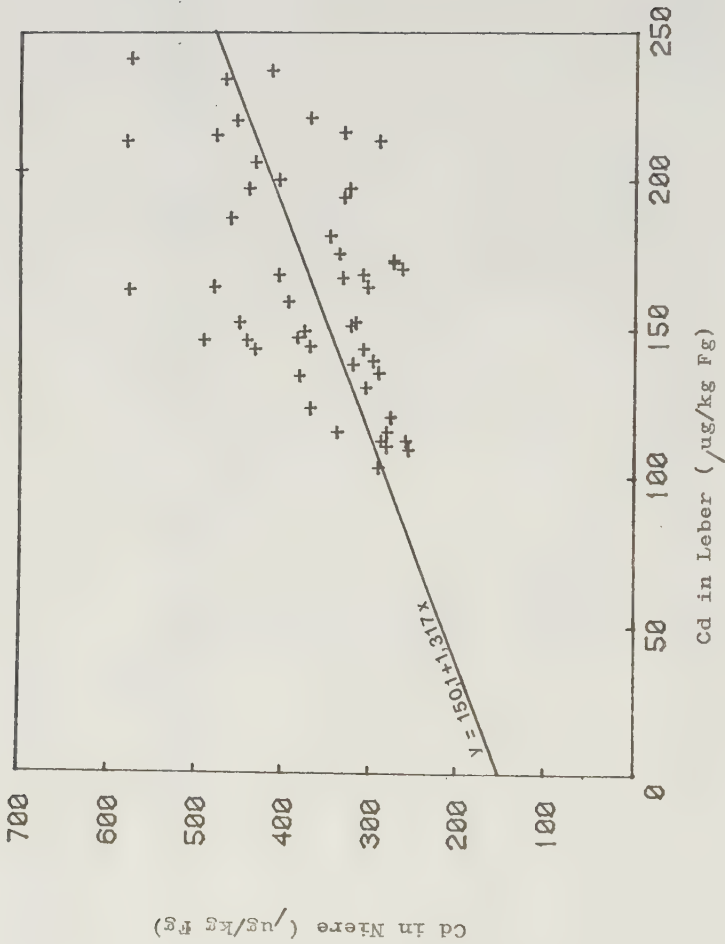
% relative Häufigkeit



$n = 37$
 $\bar{x} = 10$
 $s = (\pm) 7$
 $\tilde{x} = 8$
 $95\% \text{ VB} = 6 - 11$
 $R = 3 - 35$

Abbildung 13:

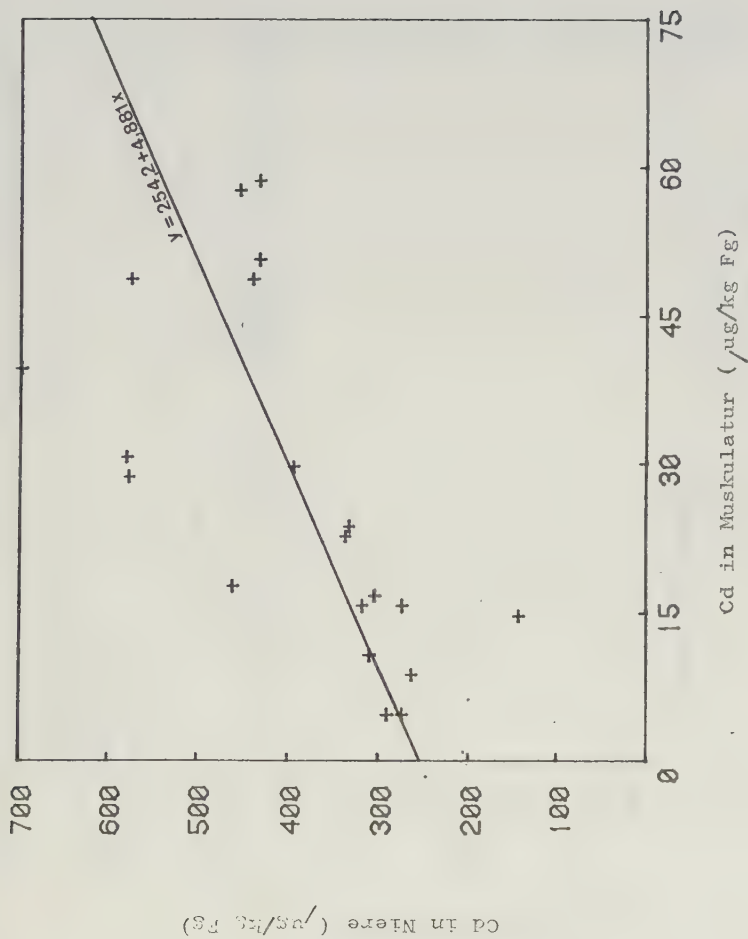
Betrieb Nr. 5 Cd Muskulatur



Graphik 1:

Betrieb Nr. 1

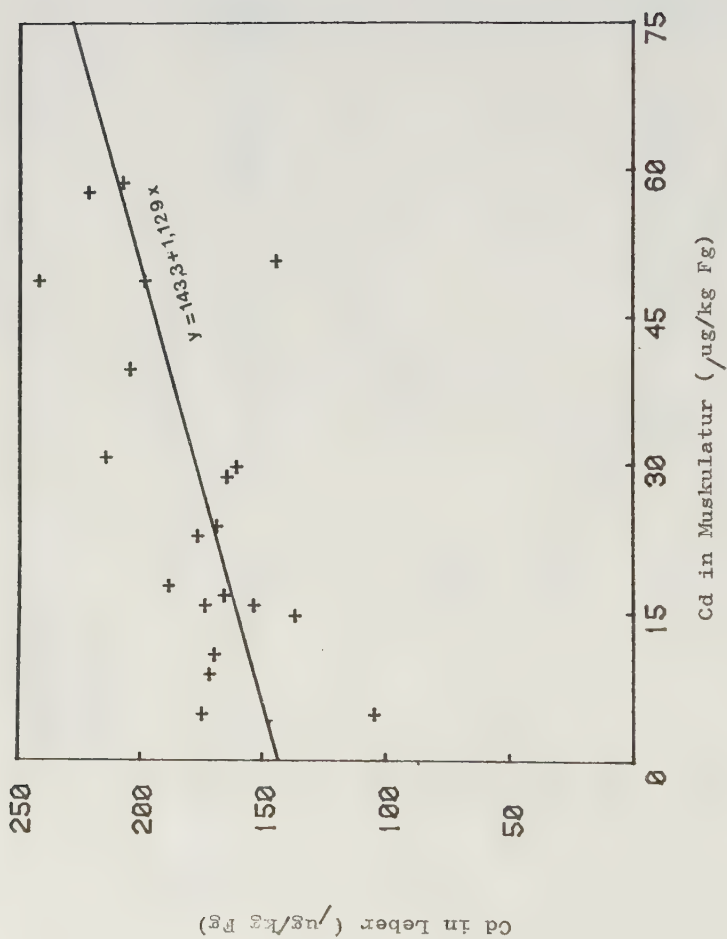
Beziehung des Cd-Gehaltes von Niere und Leber



Graphik 2:

Betrieb Nr. 1

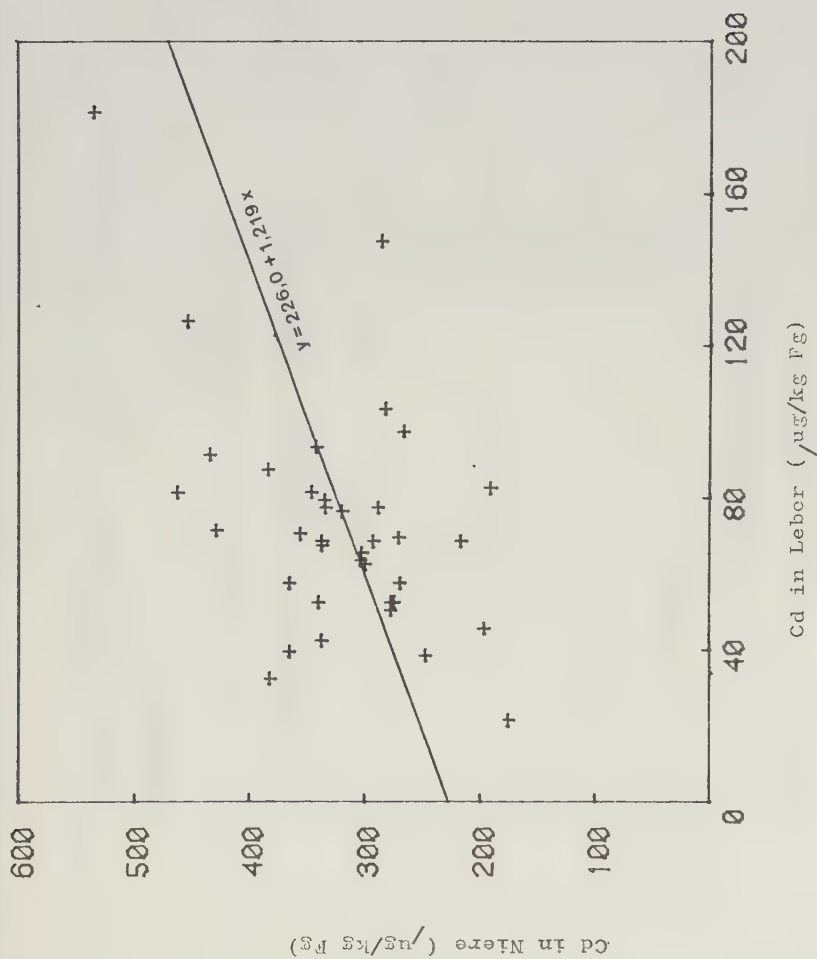
Beziehung des Cd-Gehaltes von Niere und Muskulatur



Graphik 3:

Betrieb Nr. 1

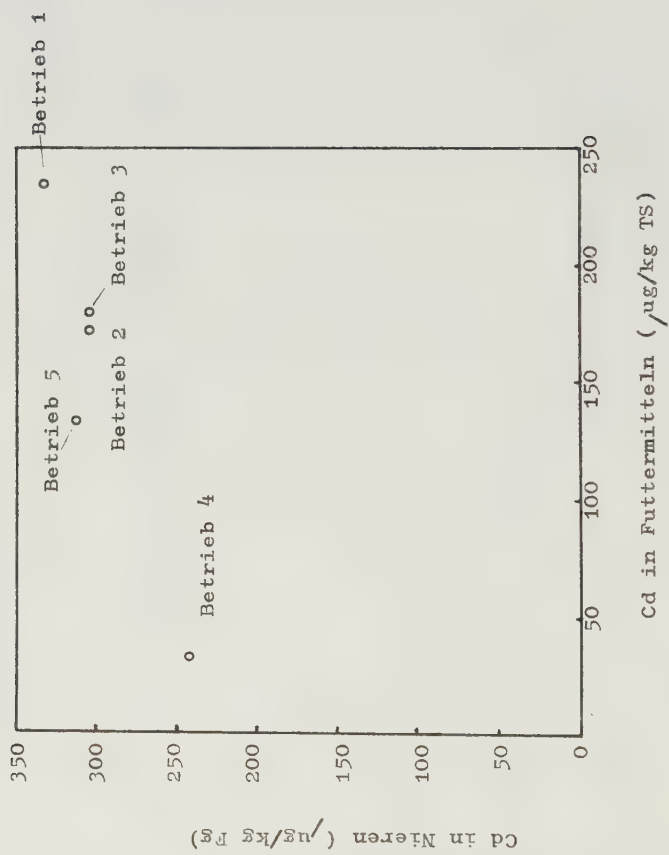
Beziehung des Cd-Gehaltes von Leber und Muskulatur



Graphik 4:

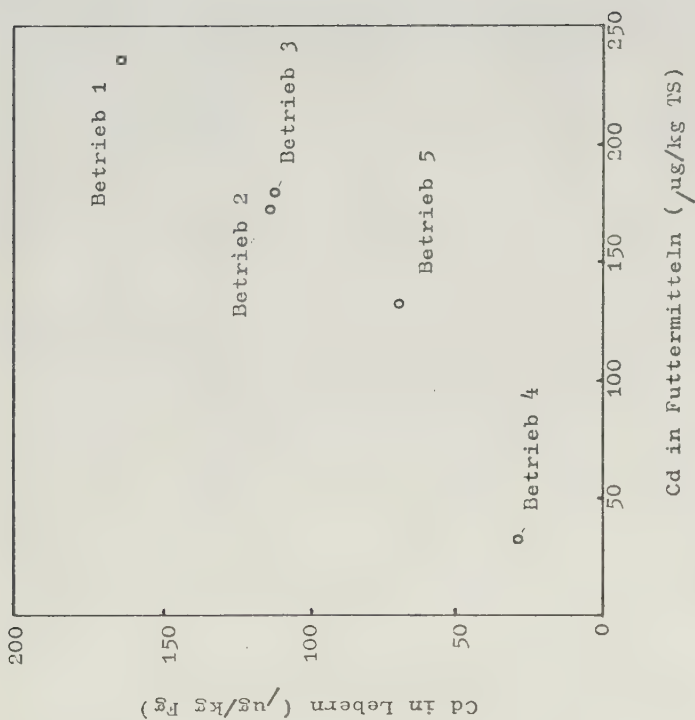
Betrieb Nr. 5

Beziehung des Cd-Gehaltes von Niere und Leber



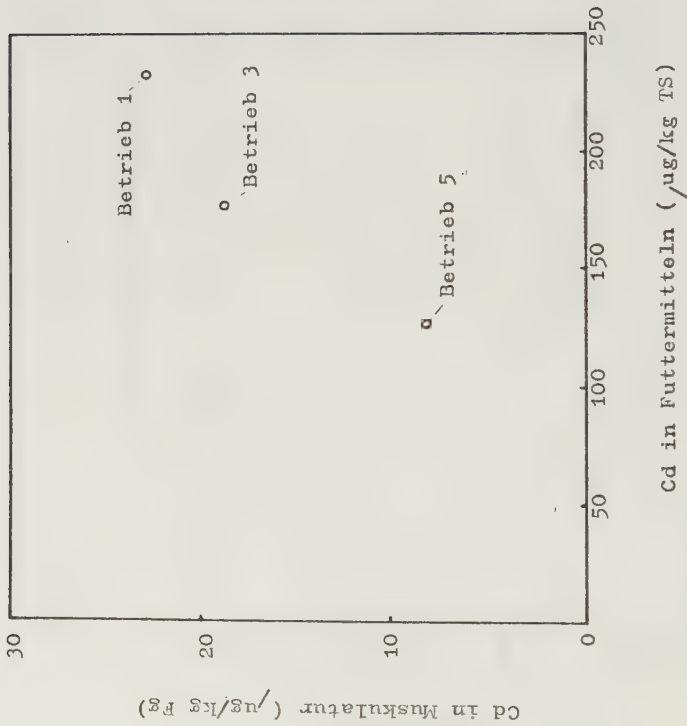
Graphik 5

Beziehung der Cd-Gehalte von Nieren und Futtermitteln



Graphik 6

Beziehung der Cd-Gehalte von Lebern und Futtermitteln



Graphik 7

Beziehung der Cd-Gehalte von Muskulatur und Futtermitteln

3.4 Besprechung der Ergebnisse

3.4.1 Cd-Gehalte des Futters

Den Tabellen 17 bis 22 ist zu entnehmen, daß im Futter der Schweine aus den 5 ausgewählten Betrieben zwischen 13 und 271 µg Cd/kg TS enthalten waren. Schweine aus den Betrieben Nr. 1 und Nr. 2 mit Getreidemast nahmen pro kg Futter (TS) durchschnittlich 233 (Betrieb Nr. 1) bzw. 169 µg Cd/kg TS (Betrieb Nr. 2) auf, bei Molkenmast (Betrieb Nr. 3) mit 177 µg Cd/kg TS eine ähnliche Menge Cd. Niedriger lag der Cd-Gehalt im Futter der Schweine des Betriebs Nr. 5, wo die Tiere mit silierten Kartoffeln gemästet wurden. Er betrug im Schnitt 131 µg Cd/kg TS. Auffallend niedrige Cd-Gehalte wurden mit nur durchschnittlich 30 µg Cd/kg TS im Futter der Tiere aus dem Betrieb Nr. 4 gefunden, der zur Mast der Schweine in erster Linie Küchenabfälle verwendet.

Wie die Varianzanalyse und auch der U-Test nach WILCOXON, MANN und WHITNEY (Seite 86) zeigten, unterschieden sich die Cd-Gehalte im Futter des Betriebs Nr. 1 auf dem 99,0 % Niveau signifikant von den Cd-Gehalten im Futter der Betriebe Nr. 2, Nr. 3, Nr. 4 bzw. Nr. 5. Signifikante Unterschiede bestanden auch auf dem 95 % Signifikanzniveau zwischen den Cd-Gehalten des Futters in den Betrieben Nr. 4 und Nr. 5. Lediglich in Betrieb Nr. 2 und Nr. 3 waren sie statistisch nicht absicherbar.

3.4.2 Cd-Gehalte der Nieren, Lebern und Muskulatur

Betrieb Nr. 1: Von den 52 untersuchten Schweinen des Betriebs Nr. 1 wiesen die Nieren stets die höchsten Cd-Gehalte auf, gefolgt von Lebern und Muskulatur.

Die Einzelwerte in den Nieren-, Lebern- und Muskelproben streuten dabei erheblich. In den Nierenproben (n = 52) schwankten die Cd-Gehalte zwischen 246 und 690 µg/kg Fg bei

einem Mittelwert von 365 µg/kg Fg, in den Lebern (n = 52) zwischen 101 und 239 µg/kg Fg bei einem Mittelwert von 163 µg/kg Fg und in der Muskulatur (n = 20) zwischen 4 und 58 µg/kg Fg bei einem Mittelwert von 27 µg/kg Fg.

Geringe Differenzen zwischen dem Medianwert und dem arithmetischen Mittelwert deuten auf ein fast normal verteiltes Kollektiv hin. Sie waren in Lebern am geringsten ($\bar{x} = 163$; $\tilde{x} = 162$) und in Nieren am größten ($\bar{x} = 365$; $\tilde{x} = 333$). Die Cd-Gehalte der Nieren waren dementsprechend eindeutig rechts schief verteilt, die der Lebern angenähert symmetrisch (Abbildung 1, Seite 63; Abbildung 2, Seite 64; Abbildung 3, Seite 65). Die Quotienten der Median- bzw. Mittelwerte betrugen bei Niere/Leber 2,1 bzw. 2,2, bei Niere/Muskulatur 14,4 bzw. 13,5 und bei Leber/Muskulatur 7,0 bzw. 6,0.

Beim Einzeltier waren die Cd-Gehalte von Nieren, Lebern und Muskulatur trotz großer Streubreiten im Gesamtkollektiv signifikant miteinander positiv korreliert. Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient r_g betrug im einseitigen Test bei Niere/Leber 0,5108, bei Niere/Muskulatur 0,7669 und bei Leber/Muskulatur 0,5262 (Graphik 1, Seite 76; Graphik 2, Seite 77; Graphik 3, Seite 78). Dies entspricht einer Korrelation der Cd-Gehalte Nieren/Cd-Gehalte Lebern und Cd-Gehalte Nieren/ Cd-Gehalte Muskulatur auf dem 99,9 % Signifikanzniveau bzw. bei den Cd-Gehalten von Lebern und Muskulatur auf dem 99 % Signifikanzniveau.

Betrieb Nr. 2: Die Cd-Gehalte in den Nieren der 32 untersuchten Schweine des Betriebs Nr. 2 waren - bis auf eine Ausnahme - stets höher als in den Lebern.

Die Cd-Werte in den Nieren streuten zwischen 166 und 396 µg/kg Fg bei einem Mittelwert von 292 µg/kg Fg, in den Lebern zwischen 68 und 221 µg/kg Fg bei einem Mittelwert von 119 µg/kg Fg. Der Medianwert war in den Nieren geringfügig größer, in den Lebern etwas kleiner als die entsprechenden arithmetischen Mittelwerte. Abbildung 4 (Seite 66) und 5 (Seite 67) zeigten dann auch, daß die Cd-Gehalte der Nieren mehr links, die der Lebern mehr rechts schief verteilt waren.

Beim Einzeltier war eine Korrelation zwischen den Organen nicht nachweisbar.

Betrieb Nr. 3: Auch in Betrieb Nr. 3 wiesen die Nieren (n = 23) die höchsten Cd-Gehalte auf, gefolgt von den Lebern (n = 23) und der Muskulatur (n = 10).

Die arithmetischen Mittelwerte der Nieren betrugen $299 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ bei einer Schwankungsbreite von $190 - 457 \mu\text{g Cd/kg Fg}$, die arithmetischen Mittelwerte der Lebern $122 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ bei einer Schwankungsbreite von $54 - 204 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ und der Muskulatur $20 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ bei einer Schwankungsbreite von $10 - 36 \mu\text{g Cd/kg Fg}$.

Die Cd-Gehalte der Nieren waren leicht links, in den Lebern und in der Muskulatur mehr rechts schief verteilt (Abbildung 6, Seite 68; Abbildung 7, Seite 69; Abbildung 8, Seite 70).

Zwischen den Cd-Gehalten der untersuchten Gewebe bestand beim Einzeltier keine Korrelation.

Betrieb Nr. 4: Die Nieren der Tiere dieses Betriebs enthielten stets höhere Cd-Gehalte als die Lebern.

Die Einzelwerte in den Nieren streuten bei einem arithmetischen Mittelwert von $238 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ von $176 - 293 \mu\text{g Cd/kg Fg}$, in den Lebern von $14 - 54 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ bei einem arithmetischen Mittelwert von $27 \mu\text{g Cd/kg Fg}$.

Die Differenz zwischen dem Median- und Mittelwert war bei Nieren wie Lebern mit 237 zu 238 bzw. 26 zu $27 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ sehr gering. Dies spricht für ein fast normal verteiltes Kollektiv (Abbildung 9, Seite 71; Abbildung 10, Seite 72).

Korrelationen zwischen den Cd-Gehalten von Nieren und Lebern bei den Einzeltieren konnten nicht ermittelt werden.

Betrieb Nr. 5: In den Nieren der Tiere des Betriebs Nr. 5 wurden stets höhere Cd-Gehalte gefunden, als in Lebern und in diesen höhere als in der Muskulatur.

Die Einzelwerte von Nieren und Lebern schwankten mit $167 - 527$ bzw. $20 - 180 \mu\text{g Cd/kg Fg}$ erheblich um die arithmetischen

Mittelwerte. Sie betrugen in Nieren 313 $\mu\text{g Cd/kg Fg}$, in den Lebern 72 $\mu\text{g Cd/kg Fg}$ und in der Muskulatur 10 $\mu\text{g Cd/kg Fg}$ und lagen nur geringfügig über den Medianwerten, d.h., daß sich die Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte nicht sehr erheblich von einer Normalverteilung unterscheiden kann (Abbildung 11, Seite 73; Abbildung 12, Seite 74; Abbildung 13, Seite 75).

Eine Korrelation bestand nur zwischen den Cd-Gehalten von Niere/Leber (Graphik 4, Seite 79), nicht dagegen zwischen den Cd-Gehalten von Niere/Muskulatur bzw. Leber/Muskulatur. Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient r_s belief sich dabei im einseitigen Test auf 0,3083, was einer statistischen Sicherung des Zusammenhangs auf dem 95 % Signifikanzniveau entspricht. Die Quotienten der Median- bzw. der Mittelwerte betrugen bei Nieren/Leber 4,6 bzw. 4,3.

In keiner der untersuchten Nieren-, Lebern- und Muskelproben wurde der von der ZEBS '79 empfohlene Cd-Richtwert für Leber (0,8 mg/kg Fg) und für Muskulatur (0,1 mg/kg Fg) auch nur annähernd erreicht. Ähnliches würde auch bei Nieren gelten, wenn man für sie den gleichen Richtwert wie für Lebern, nämlich 0,8 mg Cd/kg Fg zugrundelegt. Überschreitungen brauchen bei Schlachtschweinen (Schlachalter 5 - 6 Monate) den Ergebnissen zufolge nicht befürchtet werden. Sie können jedoch bei der Neigung des Cd, in den Nieren zu akkumulieren, für ältere Schweine wie Mutterschweine und Eber nicht ausgeschlossen werden. Sie sind sogar sehr wahrscheinlich (37, 69).

3.4.3 Zusammenhänge zwischen den Cd-Gehalten von Futter und den Cd-Gehalten von Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine

Die Cd-Gehalte von Nieren, Lebern, Muskulatur und Futtermitteln der Betriebe Nr. 1 - 5 wurden zu diesem Zweck auch mittels der Varianzanalyse auf ihre Homogenität überprüft. Die Prüfgröße (PG) wird anhand der F-Verteilung beurteilt. Sie ist das Verhältnis

der Varianz zwischen den Gruppen (s_z^2) zur Varianz innerhalb der Gruppe (s_I^2): $PG = s_z^2 / s_I^2$.

Die erhaltenen Ergebnisse sind der folgenden Aufstellung zu entnehmen.

Nieren	Prüfgröße	11,81503
	Freiheitsgrad f_1	4
	f_2	158
Lebern	Prüfgröße	73,90009
	Freiheitsgrad f_1	4
	f_2	158
Muskulatur	Prüfgröße	14,85970
	Freiheitsgrad f_1	2
	f_2	64
Futtermittel	Prüfgröße	67,72547
	Freiheitsgrad f_1	4
	f_2	22

Die Mittelwerte der Gruppen unterschieden sich demnach in allen Fällen signifikant auf dem 99,9 % Niveau voneinander, d.h. die Cd-Gehalte in Futtermitteln wie auch in Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine der Betriebe Nr. 1 - 5 sind untereinander eindeutig inhomogen.

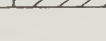
Zur Beurteilung der möglichen Unterschiede zwischen den Cd-Gehalten von Geweben und Futter wurde der U-Test nach WILCOXON, MANN und WHITNEY benutzt. Er stellt das verteilungsunabhängige Gegenstück zum parametrischen t-Test für den Vergleich zweier Mittelwerte stetiger Verteilungen dar. Der Test ist empfindlich gegenüber Medianunterschieden (111). Die erhaltene Prüfgröße vergleicht man mit tabellarischen U-Werten auf einem bestimmten Signifikanzniveau. Die Nullhypothese ($x_1 = x_2$) wird verworfen, wenn der berechnete U-Wert kleiner oder gleich dem typischen Wert aus der Tabelle ist.

Die Ergebnisse gibt tabellarisch die folgende Aufstellung wieder:

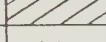
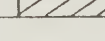
- xxx kennzeichnet dabei einen Unterschied zweiseitig auf dem 99,9 % Niveau,
 xx einen Unterschied zweiseitig auf dem 99 % Niveau,
 x einen Unterschied zweiseitig auf dem 95 % Niveau und
 - einen Unterschied zweiseitig unter dem 95 % Niveau.

Nieren

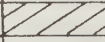
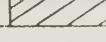
Betriebe

	1	2	3	4	5
1		+++	++	+++	+
2	+++		-	+++	-
3	++	-		+++	-
4	+++	+++	+++		+++
5	+	-	-	+++	

Lebern

	1	2	3	4	5
1		+++	+++	+++	+++
2	+++		-	+++	+++
3	+++	-		+++	+++
4	+++	+++	+++		+++
5	+++	+++	+++	+++	

Muskulatur

	1	3	5
1		-	+++
3	-		+++
5	+++	+++	

Futtermittel

	1	2	3	4	5
1	///	++	++	++	++
2	++	///	-	+	+
3	++	-	///	+	+
4	++	+	+	///	+
5	++	+	+	+	///

Aus den Graphiken 5, 6 und 7 wird ersichtlich, daß mit zunehmendem Cd-Gehalt des Futters (arithmetische Mittelwerte $\bar{x}$) die Cd-Gehalte (Medianwerte $\tilde{x}$) in Nieren, Lebern und Muskulatur der Schweine ansteigen. Lediglich die Nieren der Tiere des Betriebs Nr. 5 wiesen im Vergleich zu den Nieren der Schweine aus den Betrieben Nr. 2 und Nr. 3 höhere Cd-Gehalte auf, als man aufgrund des Cd-Gehaltes in ihrem Futter hätte erwarten dürfen.

4. DISKUSSION

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß im allgemeinen die Cd-Gehalte von Nieren, Lebern und Muskulatur bei Schweinen in Abhängigkeit vom Cd-Gehalt des aufgenommenen Futters ansteigen. Die Schweine des Betriebs Nr. 1 (Getreidemast) wiesen sowohl in Nieren (333 µg Cd/kg Fg), als auch Lebern (162 µg Cd/kg Fg) und Muskulatur (23 µg Cd/kg Fg) unter allen untersuchten Schweinen die höchsten Cd-Durchschnittsgehalte auf. Ihr Futter hatte mit 233 µg Cd/kg TS ebenfalls mehr Cd enthalten als in den anderen untersuchten Betrieben. Die geringsten Cd-Gehalte wurden dagegen in Nieren und Lebern (Nieren 237 µg/kg Fg; Lebern 26 µg/kg Fg) der Tiere aus dem Betrieb Nr. 4 ermittelt, dessen Futter (Küchenabfälle) mit durchschnittlich 30 µg/kg TS auch am wenigsten Cd-belastet waren. Die Cd-Gehalte des Futters der Betriebe Nr. 2 (Getreidemast) und Nr. 3 (Molkenmast) unterschieden nur wenig (169 bzw. 177 µg/kg TS). Entsprechend verhielten sich auch die Cd-Gehalte von Nieren und Lebern der Tiere beider Betriebe. Sie betrugen in den Nieren jeweils 302 µg/kg Fg und differierten in den Lebern mit 113 µg/kg Fg in Betrieb Nr. 2 bzw. 111 µg/kg Fg in Betrieb Nr. 3 nur unerheblich. Die Muskulatur der Schweine aus Betrieb Nr. 3 enthielt 19 µg Cd/kg Fg. Die Cd-Gehalte in Geweben wie auch im Futter der Tiere beider Betriebe lagen adäquat zwischen den Ergebnissen in Betrieb Nr. 1 und Nr. 4. Die Unterschiede in den Cd-Gehalten der Futtermittel sowie auch den Cd-Gehalten von Nieren und Lebern der Betriebe Nr. 2 und Nr. 3 waren statistisch nicht absicherbar. Eine an anderer Stelle mitgeteilte Cd-Resorptionssteigerung bei Verfütterung von flüssigen oder suppigen Futtermitteln, insbesondere bei Milchfütterung (13), konnte nicht bestätigt werden. Es hätten sonst in Nieren und Lebern der Schweine des Betriebs Nr. 3 höhere Cd-Gehalte vorliegen müssen als tatsächlich gemessen worden waren. Eine Ausnahme stellten lediglich die Cd-Gehalte in den Nieren der Tiere des Betriebs Nr. 5 (Hackfruchtmast) dar. Während dort die Cd-Gehalte in Futter (133 µg/kg TS), Lebern (67 µg/kg Fg) und

Muskulatur (8 µg/kg Fg) niedriger als in den Betrieben Nr. 2 oder Nr. 3 lagen, enthielten die Nieren dagegen etwa gleich hohe Cd-Gehalte (311 µg/kg Fg). Eine Erklärung hierfür zu finden, fällt schwer, es sei denn, die Tiere dieses Betriebs wären zum Zeitpunkt der Schlachtung älter als die der übrigen Betriebe gewesen, so daß bei ihnen mehr Zeit zur Akkumulierung des Cd in den Nieren zur Verfügung stand als bei den Schweinen aus den anderen Betrieben. Die biologische Halbwertszeit des Cd in den Nieren ist zudem erheblich länger als in Lebern und Muskulatur, so daß es in den Nieren erst viel später zur einer Gleichgewichtseinstellung zwischen Cd-Aufnahme und -Ausscheidung und damit zu einer längeren Cd-Speicherung kommen kann als in Lebern und Muskulatur. Es wäre aber auch ein zu geringer Protein- und/oder eventuell nicht optimaler Calciumgehalt im Futter als Ursache der Unterschiede in den Cd-Gehalten von Nieren, Lebern und Muskulatur der Tiere in Betrieb Nr. 5 denkbar, da sie eine Erhöhung der Cd-Resorption zur Folge haben können (124, 149). Dann hätten aber auch vermutlich Lebern und Muskulatur der Tiere erhöhte Cd-Gehalte aufweisen müssen.

Bislang von anderen Autoren durchgeführte Untersuchungen zur Ermittlung des Übergangs von Cd aus Futtermitteln in tierische Gewebe von Schlachtschweinen gelangten zu ähnlichen Ergebnissen.

CRÖSSMANN (25) stellte bei geringen Cd-Gehalten in Futtermitteln auch in den Nieren der Tiere niedrige Cd-Gehalte fest. Ebenfalls korrespondierte, wie in den eigenen Untersuchungen, ein höherer Cd-Gehalt in Futter nicht in allen Fällen mit einem höheren Cd-Gehalt in den Nieren.

FORSCHNER und WOLF (37) fanden aufgrund ihrer Untersuchungen jedoch keinen Zusammenhang zwischen den absolut im Futter aufgenommenen Mengen Cd und den Cd-Gehalten in den Nieren der Tiere. Die Kenntniss des Cd-Gehaltes im Futter reicht den eigenen Untersuchungen zufolge jedoch zur Abschätzung der Cd-Gehalte in den Nieren aus. Es bedarf dafür nicht der vom Schwein im Futter aufgenommenen absoluten Menge Cd.

VEMMER und PETERSEN (134) konnten ebenfalls keine Abhängigkeit der Cd-Gehalte in Nieren und Lebern der Schweine vom Cd-Gehalt im Futter (0,11 - 0,28 mg/kg lufttr. Futters) ermitteln. Dieses Ergebnis läßt sich möglicherweise mit den nur sehr kleinen Einzelgruppen (je Gruppe nur 5 Tiere) in der Versuchsanstellung dieser Autoren und der überwiegenden Gruppenmittelwertbestimmung bei der Auswertung ihrer Ergebnisse erklären. Sie hatten zudem dem Futter der Schweine Cd in Form von Cd-Chlorid zugesetzt. Es erscheint sehr fraglich, ob aus solchen Versuchsergebnissen auf die Verhältnisse bei Aufnahme von Futter dessen Cd-Gehalt in natürlicher organischer Bindung vorliegt, geschlossen werden kann, da die intestinale Cd-Resorption sehr stark von der Bindungsart des Cd im Futter abhängt (113). Organisch gebundenes Cd wird im allgemeinen weit besser resorbiert als anorganisches, von dem in der Regel intestinal nur 1 - 2 % zur Resorption gelangen.

Die Untersuchungen von COUSINS et al. (19) sind nicht mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen vergleichbar, da den Jungschweinen nur 6 Wochen Cd-Clorid zugefüttert worden war, und zwar in Konzentrationen, die um den Faktor 100 mal höher liegen als in handelsüblichen Futtermitteln. In der Schweinemast nehmen zudem die Tiere im Futter Cd über einen wesentlich längeren Zeitraum als 6 Wochen auf.

Die Cd-Gehalte in den Futtermitteln der Betriebe Nr. 1 - 5 stehen im Einklang zu in der Literatur mitgeteilten Werten. Die beiden Getreidefuttermittel hatten einen durchschnittlichen Cd-Gehalt von 169 bzw. 233 ug/kg TS aufgewiesen. CRÖSSMANN (23) teilte aus umfangreichen Untersuchungen ähnliche Ergebnisse mit.

Die Cd-Gehalte in den Kartoffeln des Betriebs Nr. 5 betrugen zwischen 0,076 und 0,096 mg/kg TS. OELSCHLÄGER (96) sowie RAUTU und SPORN (106) ermittelten mit 0,07 bzw. 0,08 mg Cd/kg TS fast ähnliche Gehalte. Höhere Cd-Gehalte waren von KROPF (71) sowie DIEZ und ROSOPULO (26) ermittelt worden (0,18 bzw. bis zu 0,54 mg/kg TS). Die von DIEZ und ROSOPULO (26) untersuchten Kartoffeln wuchsen allerdings auf mit Klärschlamm gedüngten Feldern.

Der Cd-Gehalt im Futter der Schweine des Molkenmastbetriebs lag mit 177 µg/kg TS vergleichsweise hoch. In Molkenpulver waren von CRÖSSMANN und EGELS (22) sowie OELSCHLÄGER (96) meist weniger als 10 µg Cd/kg TS gefunden worden. Allem Anschein nach stellen im Futter des Betriebs mit Molkenmast Corn-Cob-Mix und Kraftfutter die Hauptquellen der Cd-Kontamination dar. Diese Futterkomponenten konnten jedoch nicht auf ihre Cd-Gehalte untersucht werden, da nur Proben fertiger Futtermischung verfügbar waren.

Für Speiseabfälle (Betrieb Nr. 4) lassen sich aufgrund ihrer Inhomogenität und sehr unterschiedlicher Zusammensetzung nur sehr schwer verbindliche durchschnittliche Cd-Gehalte angeben. Vergleichswerte aus der Literatur (96) lagen ähnlich niedrig wie in den eigenen Untersuchungen. Die mit Küchenabfällen gefütterten Schweine enthielten in Nieren, Lebern und Muskulatur die geringsten Cd-Gehalte aller untersuchten Schweine. Sie waren jedoch höher, als man aufgrund des Cd-Gehaltes in dem Futter hätte erwarten dürfen. Möglicherweise wird bei nur geringen Cd-Gehalten im Futter intestinal relativ mehr Cd resorbiert als bei Cd-reicheren Futtermitteln. Es wäre aber auch denkbar, daß durch die Erhitzung des Futters vor seiner Verabreichung dieses und damit auch Cd für Verdauungs- und Resorptionsvorgänge besser aufgeschlossen wird. Dafür sprächen auch die relativ hohen Cd-Gehalte in den Nieren der Schweine des Betriebs Nr. 5, wo die Tiere gedämpfte silierte Kartoffeln erhalten hatten.

Die für Nieren (315 µg/kg Fg), Lebern (112 µg/kg Fg) und den Muskelproben (17 µg/kg Fg) ermittelten durchschnittlichen Cd-Gehalte bewegen sich innerhalb der Schwankungsbreite der von anderen Untersuchern mitgeteilten Durchschnittswerte (17, 37, 96, 115). Weit höhere Cd-Gehalte in Schweinenieren hatten 1972/73 KREUZER et al. (69) bei Tieren aus vorwiegend kleinbäuerlicher Haltung festgestellt. Der Grund dafür dürfte vor allem darin zu suchen sein, daß die Eiweißration des Futters damals zumeist aus Fischmehl bestanden hatte, das im Vergleich zu dem jetzt an seiner Stelle verwendeten Sojaeiweiß als relativ Cd-reich gilt (22).

Aus lebensmittelhygienischer Sicht verdient vor allem festgehalten zu werden, daß die häufigsten der in der Bundesrepublik

Deutschland zur Mast von Schweinen üblichen Futtermittel in den eßbaren Geweben des Schlachtkörpers von Schlachtschweinen zu keinen für die menschliche Gesundheit anscheinend bedenklichen Cd-Gehalten führen. Sie erreichten in Lebern und Muskulatur der untersuchten Schweine auch nicht annähernd die von der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien im Bundesgesundheitsamt (ZEBS) vorgeschlagenen Cd-Richtwerte '79. Das träfe auch für die Nieren zu, wenn man für sie den gleichen Richtwert wie für die Lebern, nämlich 0,8 mg Cd/kg Fg, zugrundelegen würde.

Die Forderung nach gesetzlichem Ausschluß der Nieren vom menschlichen Verzehr (52) erscheint aufgrund der eigenen Ergebnisse zumindest für Nieren von Schlachtschweinen (5 - 6 Monate alt) nicht gerechtfertigt. Die Zunahme der Cd-Kontamination in unserer Umwelt während der letzten Jahre dürfte auch nicht ohne Auswirkungen auf die Cd-Gehalte unserer Lebensmittel bleiben. Ihre Kontrolle erscheint unbedingt notwendig.

Diese Forderung unterstreicht auch der Vergleich des von der WHO/FAO empfohlenen maximalen, in der Nahrung tolerierbaren Cd-Gehaltes von täglich 57 - 71 µg mit den im Durchschnitt von der Bevölkerung derzeit pro Tag aufgenommenen 50 µg Cd. Sie legen verstärkte prophylaktische lebensmittelhygienische Maßnahmen nahe.

Regelmäßige Untersuchungen der Nieren und/oder anderer Organe von Schlachtschweinen auf ihre Cd-Gehalte wären im Rahmen der Fleischuntersuchung durchaus denkbar. Dafür würden sich besonders die Nieren anbieten. Sie erscheinen aber wegen ihres hohen Cd-Gehaltes auch für wissenschaftliche Untersuchungen als ein geeigneter Indikator zur Abschätzung der Cd-Belastung des übrigen Schlachtkörpers.

Besser als die routinemäßige Kontrolle von Nieren oder anderer Fleischteile auf Cd im Rahmen der amtlichen Fleischuntersuchung wäre allerdings bereits die Überwachung der Cd-Gehalte in den Futtermitteln. Für sie sollten primär zulässige Cd-Höchstwerte festgelegt werden. Auf diese Weise könnten in den Geweben von

Nutztierenen, vor allem in den Nieren und Lebern, überhöhte, gesundheitlich als nicht mehr unbedenklich anzusehende Cd-Gehalte a priori verhindert werden. Wo solche dennoch angetroffen werden, sollten sofort Verfolgsmaßnahmen zur Abstellung der Kontaminationsnoxe eingeleitet werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In der Zeit vom 20.11.1978 bis 27.8.1979 wurden aus 5 Betrieben der BRD - darunter 2 Betriebe sehr unterschiedlicher Exposition mit Getreidemast, sowie je 1 Betrieb mit Molken- oder Hackfruchtmast (Kartoffeln) bzw. Mast mit Küchenabfällen - von 163 im Schnitt 5 - 6 Monate alten, zur Zeit der Schlachtung 100 - 110 kg schweren Schlachtschweinen der Rasse "Deutsche Landrasse" jeweils Nieren und Lebern und bei 67 von ihnen auch die Muskulatur (Zwerchfell) zusammen mit den an die Schweine verfütterten Futtermitteln, insgesamt 27 Proben, nach nasser Mineralisation mit konzentrierter HNO_3 Suprapur im Druckaufschlußgefäß und anschließender Extraktion, flammenlos atomabsorptionsspektrometrisch (MASSMANN-Küvette der Firma Beckman, Modell 444) auf Cd untersucht.

In den untersuchten Futtermitteln schwankten die Cd-Gehalte zwischen 30 und 233 $\mu\text{g/kg}$ TS, wobei den höchsten das Futter des Betriebs Nr. 1 (Getreidemast) enthielt, den niedrigsten das des Betriebs Nr. 4, der seine Schweine mit Küchenabfällen mästete.

Die Cd-Gehalte der Nieren lagen zwischen 166 und 690 $\mu\text{g/kg}$ Fg, in den Lebern zwischen 14 und 239 $\mu\text{g/kg}$ Fg und in der Muskulatur zwischen 3 und 58 $\mu\text{g/kg}$ Fg.

Mit steigenden Cd-Gehalten im Futter der Schweine wurde eine Zunahme der Cd-Gehalte in Nieren, Lebern und Muskulatur festgestellt. In Betrieb Nr. 5 mit Hackfruchtmast lagen die Cd-Gehalte der Nieren sogar höher, als aufgrund des Cd-Gehaltes des Futters zu erwarten gewesen wäre. Unter Umständen gelangten die Schweine dieses Betriebs etwas älter zur Schlachtung.

In keiner der untersuchten Leber- und Muskelproben wurde der von der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien im Bundesgesundheitsamt empfohlene Cd-Richtwert von 0,1 mg/kg Fg für die Muskulatur bzw. von 0,8 mg/kg Fg für die Leber auch nur annähernd erreicht.

Für die Niere existiert derzeit keine Richtwertempfehlung. Würde man den Richtwert für die Leber zugrundelegen, wären Überschreitung ebenfalls nicht zu registrieren gewesen.

Die meisten in der BRD üblicherweise in der Schweinemast verwendeten Futtermittel enthalten allem Anschein nach keine Cd-Gehalte, die bei 5 - 6 Monate alten Schlachtschweinen in Nieren, Lebern und Muskulatur für den menschlichen Konsumenten zu gesundheitlich bedenklichen Cd-Gehalten über der Toleranzgrenze führen.

Die Untersuchungen legen primär eine Überwachung der Cd-Gehalte in den Futtermitteln nahe.

6. SUMMARY

In the time between November 20, 1978 and August 27, 1979 out of five farms in the Federal Republic of Germany - among them two farms with variable exposition with crop-feeding (potatoes) or feeding with garbage - the following 163 pigs were examined on the presence of Cd: from fat stock of the type "Deutsche Landrasse" with an average age of 5 - 6 months and at the time of slaughtering a weight between 100 and 110 kg, kidneys and livers and above that from 67 pigs, muscles (diaphragm) together with 27 samples fodder previously fed to the animals; all samples were examined by means of atomic absorption spectrometry in a graphite tube (Beckman, Model 444) after wet mineralisation with concentrated HNO_3 (Suprapur, Merck) in an autoclave, followed by extraction.

In the fodder examined the Cd-content varied between 30 and 233 $\mu\text{g/kg}$ dry matter; the highest proportion was found in the fodder of farm 1 with crop-feeding, the lowest in the case of farm 4, where the pigs had been set to fatten by means of garbage.

The Cd-content in the kidneys varied between 166 and 690 $\mu\text{g/kg}$ wet weight, in the livers between 14 and 239 $\mu\text{g/kg}$ wet weight and in the muscles between 3 and 58 $\mu\text{g/kg}$ wet weight.

An increase in the Cd-content in the fodder of the pigs resulted in an increase of the Cd-content in the kidneys, livers and muscles. In the case of farm number 5 with root-crop feeding, the Cd-content in the kidneys was even higher than would have been expected according to the Cd-content of the fodder. Maybe this was due to a higher age of the stock.

In none of the cases where the liver and muscles were examined the Cd-value recommended by the "Zentrale Erfassungsstelle" (a central authority for the recording and evaluation of chemicals in the environment) of the Federal Health Authority was reached even approximately: this value is 0,1 mg Cd/kg wet weight for muscles and 0,8 mg Cd/kg wet weight for livers.

As far as the kidneys are concerned there is no recommended value at present. But even if the Cd-content in the kidneys had been examined on the basis of the value recommended for the liver no excessive Cd-content would have been registered.

The majority of the fodder generally used in the F.R.G. for fattening stock does not seem to contain any Cd-content which in the case of the kidneys, livers and muscles of the 5 - 6 months old pigs causes any Cd-content above the tolerance levels which could effect the health of the consumer.

As a result of these examinations primarily a control over the Cd-content in the fodder would be recommendable.

7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Abdullah, M.I., und L.G. Royle:
Cadmium in some British coastal and fresh water environments.
CEC Colloquium "Problems of the contamination of man and his environment by mercury and cadmium",
Luxembourg 1974, 69 - 81, EUR 5075
2. Adamsson, E., M. Piscator and K. Nogawa:
Pulmonary and gastrointestinal exposure to cadmium oxide dust in a battery factory.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 219
3. Baader, E.W.:
Berufskrankheiten.
Verlag Urban und Schwarzenberg, München 1960
4. Banat, K., U. Förstner und G. Müller:
Schwermetalle in Sedimenten von Donau, Rhein, Ems, Weser und Elbe im Bereich der Bundesrepublik Deutschland.
Die Naturwissensch. 59 (1972), 525
5. Barret, H.M., and B.Y. Card:
Studies on the toxicity of inhaled cadmium.
J. Ind. Hyg. 29 (1947), 288
6. Beitz, L.:
Röntgenfluoreszenzanalyse - Möglichkeiten und Grenzen.
CZ - Chemie Technik 3 (1974), 69
7. Bergmann, J.F.:
Zur Analyse von Cadmium in Lebensmitteln.
ZUL 155 (1974), 72

8. Beton, D.C., G.S. Andrews, H.J. Davies, L. Howells and G.F. Smith:
Acute cadmium fume poisoning.
Brit. J. Ind. Med. 23 (1966), 292
9. Bingham, F.T., A.L. Page, R.J. Mahler, and T.J. Ganje:
Growth and cadmium accumulation of plants grown on soil treated with cadmium - enriched sewage sludge.
J. Environ. Qual. 4 (1975), 207
10. Boswell, F.C.:
Municipal sewage sludge and selected element applications to soil: effect on soil and rescue.
J. Environ. Qual. 4 (1975), 267
11. Bouqiaux, J.:
Mercury and cadmium in the environment.
First results of an European survey.
CEC Colloquium "Problems of the contamination of man and his environment by mercury and cadmium",
Luxembourg 1974, 23 - 46, EUR 5075
12. Bradford, G.R., A.L. Page, L.J. Lund, and W. Ohnstead:
Trace element contrations of sewage treatment plant effluents and sludges; their interactions with soils and uptake by plants.
J. Environ. Qual. 4 (1975), 123
13. Bremner, I, and C.F. Mills:
Effects of diet on the toxicity of heavy metals.
Proc. Int. Conf. "Management & control of heavy metals in the environment", London Sept. 1979, S. 139
CEP Consultants Ltd. 1979
14. Bryan, S.E., H.A. Hidalgo, V. Koppa, and H.A. Smith:
Cadmium an effector in the synthesis of thionein.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 281

15. Chaube, S., H. Nishimura, and C.A. Swingard:
Zinc and cadmium in normal human embryos and fetuses.
Arch. Environ. Health 26 (1973), 237
16. Christensen, E.:
Cadmium poisoning.
Arch. Ind. Health 16 (1957), 8
17. Cohen, M.:
Recent surveys of mercury and cadmium in food in the
United Kingdom.
CEC Colloquium "Problems of the contamination of man and
his environment by mercury and cadmium",
Luxembourg 1974, 543
18. Colucci, A.V., D. Winge, and J. Krasno:
Cadmium accumulation in rat liver.
Arch. Environ. Health 30 (1975), 153
19. Cousins, R.J., A.K. Barber, and J.R. Trout:
Cadmium toxicity in growing swine.
J. Nutr. 103 (1973), 964
20. Cousins, R.J.:
Metallothionein synthesis and degradation: relationship
to cadmium metabolism.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 131
21. Cramer, H.J.:
Eine akute perorale Cadmiumgruppenvergiftung.
Dt. Gesundh.-Wesen 11 (1956), 1056
22. Crössmann, G., und W. Egels:
Untersuchungen über den Cadmiumgehalt in Einzelfutter-
mitteln.
Landw. Forsch. 28 (1975), 164

23. Crössmann, G.:
Schwermetalle in handels- und wirtschaftseigenen
Futtermitteln.
Ber. Landw. 55 (1977), 785
24. Crössmann, G.:
Über die Kontamination von Futtermitteln mit Schwer-
metallen.
Fette - Seifen - Anstrichmittel, Sonderheft 1978, 579
25. Crössmann, G.:
1. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben "Untersuchungen
über Aufnahme und Rückstandsbildung von mit dem Futter
aufgenommenen Schwermetallen (Cd, Hg, As) bei Mastschweinen",
Münster 1978
Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit
26. Diez, T., und A. Rosopulo:
Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen nach extrem
hohen Klärschlammgaben.
Landw. Forsch., Sonderheft 33/1, Kongreßband 1976, 236
27. Dorn, C.R., J.O. Pierce, H.P.E. Phillipps, and
G.R. Chase:
Airborne Pb, Cd, Zn and Ca concentration by particle
size near a Pb smelter.
Atmosph. Environ. 10 (1976), 443
28. Doyle, J.J., W.H. Pfander, S.E. Grebing, and J.O. Pierce:
Effect of dietary cadmium on growth, cadmium absorption
and cadmium tissue levels in growing lambs.
J. Nutr. 104 (1974), 160
29. Ebner, F., H. Gams und L.J. Ottendorfer:
Die Bestimmung von Schwermetallen in österreichischen
Oberflächengewässern.
ÖAR 4 (1972), 53

30. Einbrodt, H.J., J. Rosmanith und D. Prajsnar:
Der Cadmiumgehalt im Blut und Rauchgewohnheiten.
Die Naturwissensch. 63 (1976), 148
31. Elinder, C.G., and M. Pannone:
Biliary excretion of cadmium.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 123
32. Engst, R.:
Fremdstoffe in Nahrung und Ernährung.
Ernährungsforschung 13 (1968), 614
33. Essing, H.-G., K.-H. Schaller, D. Szadkowski und
G. Lehnert:
Usuelle Kadmiumsbelastung durch Nahrungsmittel und
Getränke.
Arch. Hyg. 153 (1969), 490
34. Ferm, V.H., and S.J. Carpenter:
Teratogenic effect of cadmium and the inhibition by
zinc.
Nature 216 (1967), 1123
35. Fischer, H., und P. Weigert:
Untersuchungen über den Blei- und Cadmiumgehalt mensch-
licher Organe.
Öff. Gesundh.-Wesen 37 (1975), 732
36. Flanjak, J., and H.Y. Lee:
Trace metal content of livers and kidneys of cattle.
J. Sci. Food Agr. 30 (1979), 503
37. Forschner, E., und H.O. Wolf:
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Feststellung des
Gehaltes an Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber in
Lebensmitteln tierischer Herkunft, insbesondere Innereien",
Hannover 1976/77
Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit

38. Forth, W., D. Henschler und W. Rummel:
Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie.
B. J. Wissenschaftsverlag, Mannheim 1975
39. Fox, M.R.S., and B.E. Fry:
Cadmium toxicity decreased by dietary ascorbic acid
supplements.
Science 169 (1970), 989
40. Fox, M.R.S., B.E. Fry, B.F. Harland, M.E. Schertel,
and C.E. Weeks:
Effect of ascorbic acid on cadmium toxicity in the young
coturnix.
J. Nutr. 101 (1971), 1295
41. Friberg, L., M. Piscator, and G.F. Nordberg:
Cadmium in the environment.
CRC Press, Cleveland 1971
42. Friberg, L., M. Piscator, G.F. Nordberg, and T. Kjellström:
Cadmium in the environment.
CRC Press, Cleveland 1974, 2nd Ed.
43. Geissler, E.:
Untersuchungen zur Bestimmung von Blei in Fleischerzeug-
nissen, zugleich ein Beitrag zu ihrer Kontamination.
Diss. med. vet., München 1978
44. Gordee, R.S., C.L. Porter, and R.G. Langston:
Uptake and distribution studies of cadmium-115 m in
peppermint.
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 75 (1960), 525
45. Hall, S.H.:
Pollution and poisoning.
End. Sci. Techn. 6 (1972), 31

46. Hansen, L.G., and T.D. Hinesly:
Cadmium from soil amended with sewage sludge: effects
and residues in swine.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 51

47. Hecht, H.:
Untersuchungen über Spurenelemente im Fleisch.
Arch. Lebensmittelhyg. 24 (1973), 255

48. Henke, G.:
Cadmiumbestimmungen in Leber und Nieren von Kindern und
Jugendlichen durch Neutronenaktivierungsanalyse.
Arch. Toxicol. 26 (1970), 8

49. Henning, A., K. Georgi und H. Jeroch:
Zur kontrazeptiven Wirkung des Cadmiums.
Arch. exper. Vet. med. 25 (1971), 793

50. Höllerer, G., und E. Coduro:
Zur Schwermetallkontamination von einheimischem Wild.
Z. Lebensm. Unters.-Forsch. 163 (1977), 260

51. Hollemann, A.F., und E. Wiberg:
Lehrbuch der anorganischen Chemie.
Verlag de Gruyter & Co., Berlin 1971

52. Holm, J.:
Untersuchungen auf den Gehalt an Blei und Cadmium in
Fleisch- und Organproben bei Schlachttieren.
Fleischwirtschaft 56 (1976), 413

53. Imbus, H.R., J. Cholak, L.H. Miller, and T. Sterling:
Boron, cadmium, chromium and nickel in blood and urine.
Arch. Environ. Health. 6 (1963), 112

54. Jaakola, T., H. Takahashi, and J.K. Miettinen:
Cadmium content in sea-water, bottom sediment, fish,
lichen and elk in Finland.
A report submitted as background information the WHO
meeting of investigators on trace elements in relation
to cardiovascular disease, Symposium Genf Febr. 1971
55. Jacobs, R.M., M.R.S. Fox, and M.H. Aldridge:
Changes in plasma proteins associated with the anemia
produced by dietary cadmium in japanese quail.
J. Nutr. 99 (1969), 119
56. Jarvis, S.C., L.H.P. Jones, and M.J. Hopper:
Cadmium uptake from solution by plants and its transport
from roots to shoots.
Plant and Soil 44 (1976), 179
57. John, M.K.:
Cadmium uptake by eight food crops as influenced by
various soil levels of cadmium.
Environ. Pollut. 4 (1973), 7
58. Jones, R.L., T.D. Hinesly, E.L. Ziegler, and J.J. Tyler:
Cadmium and zinc contents of corn leaf and grain
produced by sludge amended soil.
J. Environ. Qual. 4 (1975), 509
59. Kazantzis, G., F.V. Flynn, J.S. Spowage, and D.G. Trout:
Renal tubular malfunction and pulmonary emphysema in
cadmium pigment workers.
Quart. J. Med. 32 (1963), 165
60. Kazantzis, G.:
Renal tubular dysfunction and abnormalities of calcium
metabolism in cadmium workers.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 155

61. Kirkham, M.B.:
Uptake of cadmium and zinc from sludge by barley grown
under four different sludge irrigation regimes.
J. Environ. Qual. 4 (1975), 423
62. Kjellström, T.:
Exposure and accumulation of cadmium in populations from
Japan, the United States and Sweden.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 169
63. Kloke, A.:
Zur Belastung von Böden und Pflanzen mit Schadstoffen
in und um Ballungsbereichen.
Ber. Landw. 55 (1977/78), 633
64. Kloke, A.:
Cadmium in Boden und Pflanze - Ein Beitrag zum Thema
"Umweltschutz".
Nachrichtenbl. Dt. Pflanzenschutzd., Braunschweig
23 (1971), 164
65. Knöppler, H.O., W. Graunke, H. Schulze und W. Gedek:
Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte in Fleisch- und
Organproben von Lämmern und Schafen.
Fleischwirtschaft 59 (1979), 241
66. Koch, O.G., und G.A. Koch-Dedic:
Handbuch der Spurenelementanalyse.
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1974
67. Kracke, W.:
Institut für Strahlenschutz der Gesellschaft für Strahlen-
und Umweltforschung mbH, München
persönliche Mitteilung 1979
68. Kreuzer, W., B. Sansoni, W. Kracke und P. Wißmath:
Cadmium in Fleisch und Organen von Schlachtschweinen.
Fleischwirtschaft 55 (1975), 387

69. Kreuzer, W., P. Wißmath und W. Hollwich:
Cadmiumgehalte in Fleisch, Leber und Nieren von Schlacht-
schweinen.
Fleischwirtschaft 57 (1977), 267

70. Kreuzer, W., W. Kracke, B. Sansoni und P. Wißmath:
Untersuchungen über den Blei- und Cadmiumgehalt in Fleisch
und Organen von Schlachtrindern.
Fleischwirtschaft 58 (1978), 1022

71. Kropf, R., und M. Geldmacher-v. Mallinckrodt:
Der Cadmiumgehalt von Nahrungsmitteln und die tägliche
Cadmiumaufnahme.
Arch. Hyg. 152 (1968), 218

72. Kubota, J., A. Lazar and F. Losee:
Copper, zinc, cadmium and lead in human blood from
19 locations in the United States.
Arch. Environ. Health 16 (1968), 788

73. Lagerwerff, J.V., and A.W. Specht:
Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium,
nickel, lead and zinc.
Environ. Sci. Technol. 4 (1970), 583

74. Lagerwerff, J.V.:
Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil
and air.
Soil Science 111 (1971), 129

75. Lauwerys, R.R., J.-P. Buchet, H.A. Roels, J. Brouwers,
and D. Stanescu:
Epidemiological survey of workers exposed to cadmium.
Effect on lung, kidney and several biological indices.
Arch. Environ. Health 28 (1974), 145

76. Lauwerys, R.R., J.P. Buchet, and H.A. Roels:
The relationship between cadmium exposure or body burden
and the concentration of cadmium in blood and urine
in man.
Int. Arch. Occup. Environ. Health 36 (1976), 275
77. Lauwerys, R.R., H.A. Roels, J.-P. Buchet, A. Bernard,
and D. Stanescu:
Investigations on the lung and kidney function in workers
exposed to cadmium.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 137
78. Leber, A.P., and T.S. Miya:
A mechanism for cadmium and zinc - induced tolerance
to cadmium toxicity: involvement of metallothionein.
Toxicol. Appl. Pharm. 37 (1976), 403
79. Lee, R.E., R.K. Patterson, and J. Wagman:
Particle-size distribution of metal components in urban
air.
Environ. Sci. Technol. 2 (1968), 288
80. Lee, R.E., S.S. Goranson, R.E. Envione, and G.B. Morgan:
National air surveillance cascade impactor network.
II. Size distribution measurement of trace metal components.
Environ. Sci. Technol. 6 (1972), 1025
81. Lehnert, G., K.-H. Schaller und T. Haas:
Atomabsorptionsspektrometrische Cadmiumbestimmung im
Serum und Harn.
Z. Klin. Chem. 6 (1968), 174
82. Lener, J., und B. Bibr:
Cadmium content in some foodstuffs in respect of its
biological effects.
Vitalstoffe - Zivilisationskrankh. 15 (1970), 139

83. Lewis, G.P., W.J. Jusko, and L.L. Coughlin:
Cadmium accumulation in man: Influence of smoking,
occupation, alcoholic habit and disease.
J. Chron. Dis. 25 (1972), 717
84. Little, P., and M.H. Martin:
A survey of Zn, Pb and Cd in soil and natural vegetation
around a smelting complex.
Environ. Pollut. 3 (1972), 241
85. Malik, R.:
Evaluation of contaminants mercury and cadmium, by the
joint FAO/WHO expert committee on food additives;
April 1973.
CEC Colloquium "Problems of the contamination of man
and his environment by mercury and cadmium",
Luxembourg 1974, S. 647
86. Mappes, R.:
Normaler Cadmiumgehalt des Urins.
Arbeitsmed. Sozialmed. Arbeitshyg. 5 (1969), 142
87. Margoshes, M., and B.L. Vallee:
A Cadmium protein from equine kidney cortex.
J. Amer. Chem. Soc. 79 (1957), 4813
88. Masironi, W.:
International studies on trace elements in the ethiology
of cardiovascular disease.
Nutr. Rep. Intern. 7 (1953), 51
89. Menden, E.E., V.J. Elia, L.W. Michael, and H.G. Petering:
Distribution of cadmium and nickel of tobacco during
cigarette smoking.
Environ. Sci. Technol. 6 (1972), 830

90. Miller, W.J., B. Lampp, G.W. Powell, C.A. Salotti,
and D.M. Blackmon:
Influence of a high level of dietary cadmium on cadmium
content in milk, excretion and cow performance.
J. Dairy Sci. 50 (1967), 1404
91. Moore, W., J.F. Stara, W.A. Crocker, M. Malanchuk,
and R. Iltis:
Comparison of ¹¹⁵cadmium retention in rats following
different routes of administration.
Environ. Res. 6 (1973), 473
92. Munshower, F.F., and D.R. Neumann:
Pathways and distribution of some heavy metals in a
grassland ecosystem.
Proc. Int. Conf. "Management & control of heavy metals
in the environment", London Sept. 1979, S. 206
CEP Consultants Ltd. 1979
93. Nordberg, G.F., M. Piscator, and M. Nordberg:
on the distribution of cadmium in blood.
Acta Pharmacol. Toxicol. 30 (1971), 289
94. Nordberg, G.F., R. Goyer, and M. Nordberg:
Comparative toxicity of cadmium metallothionein and
cadmium chloride on mouse kidney.
Arch. Pathol. 99 (1975), 192
95. Oberländer, H.E., und K. Roth:
Radiometrischer Nachweis der Cadmiumanreicherung im
Mehlkörper des Weizenkorns nach Cadmiumzufuhr zum Boden.
Naturwissensch. 63 (1976), 483
96. Oelschläger, W.:
Über die Kontamination von Futtermitteln und Nahrungs-
mitteln mit Cadmium.
Landw. Forsch. 27 (1974), 274

97. Ohnesorge, F.K.:
Toxizität von Cadmium und Quecksilber unter dem Aspekt möglicher Gesundheitsschäden bei der Allgemeinbevölkerung. CEC Kolloquium "Probleme im Zusammenhang mit der Kontamination des Menschen und seiner Umwelt durch Quecksilber und Kadmium", Luxemburg 1974, S. 409, EUR 5075
98. Olson, B.H., D.C. Hills, V.P. Guinn, and M. Nassiri:
Trace element accumulation from land application of wastewater.
Proc. Int. Conf. "Management & control of heavy metals in the environment", London Sept. 1979, S. 481
CEP Consultants Ltd. 1979
99. Parizek, J., and Z. Zahor:
Effect of cadmium salts on testicular tissue.
Nature 177 (1956), 1036
100. Parizek, J.:
Sterilization of the male by cadmium salts.
J. Reprod. Fertil. 1 (1964), 294
101. Perry, H.M., J.H. Tipton, H.A. Schroeder, R.L. Steiner, and M.J. Cook:
Variation in the concentration of cadmium in the kidneys as a function of age and geographic origin.
J. Chron. Dis. 14 (1961), 259
102. Perry, H.M.:
Hypertension and the geochemical environment.
Ann. New York Acad. Sci. 199 (1970), 202
103. Powell, G.W., W.J. Miller, J.D. Morton, and C.M. Clifton:
Influence of dietary cadmium level and supplemental zinc on cadmium toxicity in the bovine.
J. Nutr. 84 (1964), 205

104. Probst, G.S., W.F. Bousquet, and T.S. Miya:
Correlation of hepatic metallothionein concentrations
with acute cadmium toxicity in the mouse.
Toxicol. Appl. Pharmacol. 39 (1977), 61
105. Rahola, T., R.K. Aaran, and J.K. Miettinen:
Half-time studies of mercury and cadmium by whole body
counting.
Assessment of radioactive contamination in man.
I.A.E., Wien 1972, 553
106. Rautu, K., und A. Sporn:
Beiträge zur Bestimmung der Cadmiumzufuhr durch
Lebensmittel.
Die Nahrung 14 (1970), 25
107. Römpp, H.:
Chemie-Lexikon.
Band 1, 7. Aufl.
Frankh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1972
108. Rogowski, B.:
Lebensmittelwissenschaft und Lebensmitteltechnologie,
Teil 3: Nährwerterhaltung und Nutzung von Abfällen.
Fleischwirtschaft 55 (1975), 643
109. Rühling, Å., and G. Tyler:
Ecology of heavy metals - a regional and history study.
Bot. Notiser 122 (1969), 248
110. Sabbioni, E., and E. Marafante:
Heavy metals in rat liver; cadmium binding protein.
Environ. Physiol. Biochem. 5 (1975), 132
111. Sachs, L.:
Angewandte Statistik.
Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1973

112. Scharpenseel, H.W., und H. Beckmann:
Schwermetalluntersuchungen an terrestrischen, hydro-
morphen und subhydrischen Böden aus ländlichen sowie stadt-
und industrienahen Bereichen.
Landw. Forsch. 28 (1975), 239
113. Schmidt, P., und R. Gohlke:
Tierexperimentelle Untersuchungen zur Toxizität des
Kadmiumstearats.
Z. Gesamte Hyg. 17 (1971), 827
114. Schön, L.:
Handelsklassen für Schweinehälften.
AID Nr. 248, Bonn 1977
115. Schroeder, H.A., and J.J. Balassa:
Abnormal trace metals in man: cadmium.
J. Chron. Dis. 14 (1961), 236
116. Schroeder, H.A., W.H. Vinton, and J.J. Balassa:
Effect of chromium, cadmium and other trace metals
on the growth and survival of rats.
J. Nutr. 80 (1963), 48
117. Schroeder, H.A.:
Cadmium as a factor of hypertension.
J. Chron. Dis. 18 (1965), 647
118. Schroeder, H.A., J.J. Balassa, and W.H. Vinton:
Chromium, cadmium and lead in rats: effects of life span,
tumors and tissue levels.
J. Nutr. 86 (1965), 51
119. Schroeder, H.A.:
Cadmium, chromium and cardiovascular disease.
Circulation 35 (1967), 570

120. Schroeder, H.A., A.P. Naon, J.H. Tipton, and J.J. Balassa:
Essential trace metals in man.
Zinc, relation to environmental cadmium.
J. Chron. Dis. 20 (1967), 179
121. Sharma, R.P., J.C. Street, M.P. Verma, and J.L. Shupe:
Cadmium uptake from feed and its distribution to food
products of livestock.
Environ. Health Persp. 28 (1979), 59
122. Smith, T.J., T.L. Petty, J.C. Reading, and S. Lakshminarayan:
Pulmonary effects of chronic exposure to airborne cadmium.
Am. Rev. Resp. Dis. 114 (1976), 161
123. Smith, T.J., A.R. Temple, and J.C. Reading:
Cadmium, lead and copper blood levels in normal children.
Clin. Toxicol. 9 (1976), 75
124. Suzuki, S., T. Taguchi, and G. Yokohashi:
Dietary factors influencing upon the retention rate of
orally administered $^{115m}\text{CdCl}_2$ in mice with special
reference to calcium and protein concentrations in diet.
Ind. Health 7 (1969), 155
125. Suzuki, T., and A. Yoshida:
Effects of administration route of cadmium and iron
on cadmium toxicity in rats.
Nutr. Reports Intern. 18 (1978), 389
126. Szadowski, D., H. Schultze, K.-H. Schaller und G. Lehnert:
Zur ökologischen Bedeutung des Schwermetallgehaltes von
Zigaretten.
Arch. Hyg. Bakt. 153 (1969), 1
127. Thiele, H.H., C. Märtens und T. Schöneburg:
Über die Entdeckung des Cadmiums vor 150 Jahren.
Z. Chem. 9 (1969), 55

128. Tolan, A., and G.A. Elton:
Total diet studies with special reference to mercury
and cadmium.
CEC Colloquium "Problems of the contamination of man
and his environment by mercury and cadmium",
Luxembourg 1974, S. 335
129. Tsuchiya, K.:
Proteinuria of workers exposed to cadmium fume.
Arch. Environ. Health 14 (1967), 875
130. Tsuchiya, K.:
Causation of ouch-ouch disease.
Keio J. Med. 18 (1969), 181
131. Tsuchiya, K.:
Perspectives in the environmental toxicology of trace
metals.
CEC-EPA-WHO International Symposium "Environment and
Health", Paris June 1974
132. Valentin, H., W. Klosterkötter, G. Lehnert, H. Petry,
J. Rutenfranz und H. Wittgens:
Arbeitsmedizin.
Verlag Georg Thieme, Stuttgart 1971
133. Vallee, B.L., and D.D. Ulmer:
Biochemical effects of mercury, cadmium and lead.
Ann. Rev. Biochem. 41 (1972), 91
134. Vemmer, H., und U. Petersen:
Übergang von Blei und Cadmium aus Futtermitteln in die
wichtigsten Gewebe von Mastschweinen.
Symposium über den Carry-Over von Schadstoffen in der
landwirtschaftlichen und tierischen Produktion an der
Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, Juni 1978,
S. 214

135. Vuori, E.A., A. Huunan-Seppälä, and J.O. Kilpiö:
The concentration of copper, iron, manganese, zinc
and cadmium in human hair as a possible indicator of
their tissue concentrations.
CEC-EPA-WHO International Symposium Environment and
Health, Paris June 1974
136. Wachs, B.:
Untersuchungen über die Belastung bayerischer Gewässer
mit Cadmium (1972 - 1977) der Bayer. Landesanstalt für
Wasserforschung München.
Bericht an das Bayerische Staatsministerium für Landes-
entwicklung und Umweltfragen; Selbstverlag 1977
137. Wachs, B.:
Kontamination der Oberflächengewässer durch Cadmium.
Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Fluß-
biologie, Bd. 30: Schadstoffe im Oberflächenwasser und
im Abwasser, 1978, S. 84
138. Wachs, B.:
Der Cadmiumgehalt der bayerischen Gewässer.
Amtsbl. des Bayer. Staatsministeriums für Landesentwicklung
und Umweltfragen 1 (1979)
139. Walsh, A.:
Die Anwendung von Atomabsorptionsspektren auf die chemi-
sche Analyse.
Spectrochim. Acta 7 (1955), 108
140. Watanabe, H., and H. Murayama:
A study on health effect indices concerning population
in cadmium-polluted area.
CEC-EPA-WHO International Symposium Environment and
Health, Paris June 1974

141. Weber, C.W., and B.L. Reid:
Cadmium studies in chicks.
Poultry Sci. 50 (1971), 1644
142. Westermarck, T., and B. Sjostrand:
Activation analysis of Cadmium in small biopsy samples.
Int. J. Appl. Radiation 9 (1960), 78
143. William, C.H., and D.J. David:
The accumulation in soil of cadmium residues from phosphate
fertilizers and their effect on the cadmium content of
plants.
Soil Sci. 121 (1976), 86
144. Winogradow, A.P.:
Geochemie seltener und nur in Spuren vorhandener chemi-
scher Elemente im Boden.
Akademie-Verlag, Berlin 1954, S. 249
145. Wißmath, P.:
Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel
tierischen Ursprungs der Tierärztlichen Fakultät der
Universität München,
persönliche Mitteilungen, 1979
146. Worker, N.A., and B.B. Migicovsky:
Effect of Vitamin D on the utilization of zinc, cadmium
and mercury in the chick.
J. Nutr. 75 (1961), 222
147. Wright, F.C., J.S. Palmer, J.C. Riner, M. Haufler,
J.A. Miller, and C.A. McBeth:
Effects of dietary feeding of organocadmium to cattle
and sheep.
J. Agr. Food Chem. 25 (1977), 293

148. Yamagata, N., and I. Shigematsu:
Cadmium pollution in perspective.
Bull. Inst. Publ. Health 19 (1970), 1
149. Zechalko, A.:
The influence of increasing nutritional deficiencies on the toxicity of Pb, Cd and Pb + Cd.
Proc. Int. Conf. "Management & control of heavy metals in the environment", London Sept. 1979, S. 118
CEP Consultants Ltd. 1979
150. N.N.:
16th Joint Expert Committee on Food Additives:
Evaluation of mercury, lead, cadmium and the food additives amaranth, diethylpyrocarbonate and acetylgallate.
WHO Food Additives, Series No. 4, and Technical Report Series No. 505, 1972
151. N.N.:
Criteria (dose/effect relationship) for cadmium.
Report of a working group of experts prepared for the Commission of the European Communities, Directorate - General for Social Affairs, Health and Safety Directorate, EUR 5697 (1978)
152. N.N.:
Entwurf zu einer Verordnung über zulässige Gehalte an Arsen, Kadmium, Blei und Quecksilber in und auf Fleisch und Fleisch-erzeugnissen.
Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit 1974
153. N.N.:
Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte von Lebensmitteln in der BRD.
Bericht der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien im Bundesgesundheitsamt, 1.10.1975

154. N.N.:

Cd-Richtwerte der Zentralen Erfassungs- und Bewertungs-
stelle für Umweltchemikalien beim Bundesgesundheitsamt,
Stand 1979

155. N.N.:

Luftqualitätskriterien für Cadmium.
Umweltbundesamt Berlin, Berichte 4/77

Für die Überlassung des Themas und die jederzeit gewährte Unterstützung während der Durchführung der Arbeit danke ich herzlich Herrn Professor Dr. W. Kreuzer.

Mein Dank gilt auch Herrn Dr. P. Wißmath für die vielen Anregungen im Rahmen dieser Arbeit.

Weiterhin danke ich auch Herrn Dr. K. Bunzl, Institut für Strahlenschutz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München, für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung des Datenmaterials.

Auch Frau A. Rode möchte ich für ihr Engagement bei der Durchführung der Versuche danken.

LEBENS LAUF

Am 31.5.1953 wurde ich in Greifswald (Mecklenburg) als Sohn der Eheleute Ruth und Henri Ostertag geboren. 1955 zogen meine Eltern mit mir über Hamburg nach München um, wo mein Vater als technischer Oberamtsrat bei der Straßenbeleuchtung tätig ist.

Von 1959 bis 1963 besuchte ich die Volksschule und von 1963 bis 1973 das Luitpold-Gymnasium in München. Am 8.6.1973 legte ich die Reifeprüfung ab und begann im Wintersemester des gleichen Jahres mit dem Veterinärstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Am 25.10.1978 bestand ich den 3. Teil des Staatsexamens. Die Bestallung als Tierarzt erhielt ich am 15.1.1979.

Seit dem 1.11.1978 bin ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen Ursprungs tätig.

